

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PPGECC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

CRISTIANO EDUARDO ANTUNES

**MAPEAMENTO DE PROCESSOS E DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS
DE INFORMAÇÃO EM PROJETOS DE ESTRUTURAS EM CONCRETO
ARMADO PARA OBRAS DE SANEAMENTO ATRAVÉS DE SISTEMAS
BIM: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO A METODOLOGIA IDM**

CURITIBA

2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PPGECC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

CRISTIANO EDUARDO ANTUNES

**MAPEAMENTO DE PROCESSOS E DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS
DE INFORMAÇÃO EM PROJETOS DE ESTRUTURAS EM CONCRETO
ARMADO PARA OBRAS DE SANEAMENTO ATRAVÉS DE SISTEMAS
BIM: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO A METODOLOGIA IDM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Scheer

CURITIBA

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

CRISTIANO EDUARDO ANTUNES

MAPEAMENTO DE PROCESSOS E DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS DE INFORMAÇÃO EM PROJETOS DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO PARA OBRAS DE SANEAMENTO ATRAVÉS DE SISTEMAS BIM: ESTUDO DE CASO UTILIZANDO A METODOLOGIA IDM

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

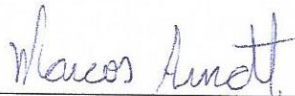
Orientador:



Prof. Dr. Sérgio Scheer

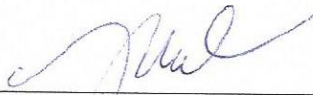
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - UFPR

Examinadores:



Prof. Dr. Marcos Arndt

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - UFPR



Prof.^a Dr.^a Regina Coeli Ruschel

Departamento de Construção Civil - UNICAMP

Curitiba, 31 de março de 2014

RESUMO

A indústria da construção é alvo de uma constante pressão para melhoria de seus processos e redução de desperdícios. A modelagem da informação da construção (BIM, sigla em inglês para *Building Information Modeling*), com todas as suas características, tem um notável potencial para aprimorar diversos aspectos do setor. É conhecido que a execução de um edifício é uma atividade de grupo. Isto é, os diversos participantes devem interagir entre si, compartilhando informações. Assim, para que a BIM seja adotada de forma abrangente e utilizada plenamente, a questão da interoperabilidade deve ser tratada. A interoperabilidade é a capacidade de intercâmbio de informações entre dois ou mais sistemas. Para se conseguir chegar à interoperabilidade, foi criado o modelo de dados IFC (*Industry Foundation Classes*), que é um apanhado de classes relacionadas a toda informação no ciclo de vida da edificação. Todavia, na prática não é toda a informação do edifício que é compartilhada entre os envolvidos, mas sim uma parcela do modelo IFC referente a um determinado estágio da construção. Assim, para ter conhecimento de quais informações devem ser transmitidas de um profissional a outro em certa fase da obra, surgiu o IDM (*Information Delivery Manual*). O IDM é uma metodologia destinada a mapear os processos que ocorrem na indústria da construção, os agentes envolvidos, os requisitos de informação destes e quais partes do modelo IFC dão suporte a tais requisitos. Deste modo, sabendo da importância do projeto no ciclo de vida da edificação, a presente pesquisa tem o objetivo de explorar o processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, bem como os requisitos de informação dos intervenientes, por meio da metodologia IDM. Buscou-se mapear os processos e determinar os requisitos de troca de informação dos envolvidos, bem como propor um processo otimizado para o projeto. Para isso, desenvolveu-se um estudo de caso em uma empresa de projetos, onde o pesquisador coletou os dados através de observação participante, entrevistas e análise documental. De fato, o pesquisador atuou intensivamente no caso, dimensionando e detalhando estruturas para obras de saneamento. Após a coleta de dados, foram elaborados mapas de processos constando todas as atividades desenvolvidas durante os projetos. Além disso, foram apropriadamente desenvolvidos os requisitos de troca de informação para cada uma das atividades, segundo os padrões do IDM. Foi possível caracterizar, com grande detalhe, o processo de projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, assim como os requisitos de informação dos profissionais envolvidos. Percebeu-se também a inexistência de algumas entidades IFC que demonstraram-se necessárias quando do mapeamento dos requisitos de troca. Ainda, foi proposto um fluxo de processos otimizado.

Palavras-chave: Building Information Modeling. Industry Foundation Classes. Information Delivery Manual.

ABSTRACT

The construction industry is the target of constant pressure for improving processes and reducing waste. BIM (Building Information Modeling), with all their characteristics, has a remarkable potential for improving several aspects of the sector. It's well known that a construction project is a group activity. Namely, the participants must interact with each other, sharing information. Therefore, to BIM become widely adopted and fully utilized, the interoperability issue must be addressed. Interoperability is the capacity of exchange of information between two or more systems. To interoperability be reached, the IFC (Industry Foundation Classes) data model, which is a series of classes about all the information in the building life cycle, was created. However, in practice is not all the building information that is shared between stakeholders, but a part of the IFC model relative to a certain stage of the construction. Therefore, to know what information must be send from one professional to another in a certain project stage, the IDM (Information Delivery Manual) emerged. The IDM is a methodology intended to map the construction processes, the professionals involved, their information requirements and which parts of the IFC data model supports those requirements. Thus, knowing the importance of the design in the building life cycle, the target of this research is to explore the reinforced concrete sanitation buildings structural BIM design process and the information requirements of the stakeholders, with the IDM methodology. It's was sought to map the processes and determine the information exchange requirements of the professionals involved, as well to propose an optimized process. For this, a case study was developed in a structural design company, where the researcher collected data by participant observation, interviews and documental analysis. Indeed, the researcher acted intensively in the case, in the role of civil engineer, designing and detailing sanitation building structures. After the data collection, it was elaborated some process maps, containing all the activities developed during the projects. Furthermore, it was appropriately displayed the information requirements for each one of the activities, by the IDM standards. It was possible to characterize, with great detail, the reinforced concrete sanitation buildings structural BIM design process, as well as the stakeholders information requirements. It was also noticed the absence of some IFC entities shown to be necessary when mapping the exchange requirements. Furthermore, it was proposed an optimized process.

Key-words: Building Information Modeling. Industry Foundation Classes. Information Delivery Manual.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plano de assunto	18
Figura 2 - Agentes do processo de projeto	23
Figura 3 - Fases do empreendimento e a capacidade de influenciar os custos.....	25
Figura 4 - Maior investimento no projeto relacionado ao custo mensal do empreendimento..	25
Figura 5 - Tradutores diretos e padrão aberto de interoperabilidade.....	37
Figura 6 - Padrões da BuildingSMART	41
Figura 7 - Estrutura de dados do padrão IFC.....	42
Figura 8 - Componentes do IFC4	43
Figura 9 - Trecho de código IFC	43
Figura 10 - O mesmo conceito apresentando diferentes palavras para representá-lo	49
Figura 11 - Propriedades do conceito janela na biblioteca IFD	50
Figura 12 - IFD como uma ontologia	50
Figura 13 - IDM suportando processos específicos.....	52
Figura 14 - Arquitetura técnica básica do IDM.....	55
Figura 15 - Partes funcionais de um requisito de troca	58
Figura 16 - Definição de um modelo de requisito de troca	60
Figura 17 - Sequência da metodologia de descobrimento de processo e mineração de dados.	64
Figura 18 - Sequência da metodologia de engenharia reversa	67
Figura 19 - Elementos essenciais da BPMN para o desenvolvimento de IDMs	69
Figura 20 - Mapa de processos para estruturas de madeira.....	71
Figura 21 - Mapa de processos da cadeia de suprimentos de armaduras para concreto.....	75
Figura 22 - Etapas da pesquisa	79
Figura 23 - Estrutura organizacional da empresa	88
Figura 24 - Exemplos de estruturas para obras de saneamento.....	92
Figura 25 - Modelagem dos elementos estruturais.....	98
Figura 26 - Modelo de cálculo de reator anaeróbio.....	100
Figura 27 - Anotações nas pranchas do projeto básico	104
Figura 28 - Modelo BIM de um reator anaeróbio desenvolvido no Allplan.....	106
Figura 29 - Exemplo de desenho de formas desenvolvido no Allplan.....	106
Figura 30 - Modelo BIM com armaduras desenvolvido no Allplan.....	107
Figura 31 - Exemplo de parte de desenho de armadura desenvolvido no Allplan.....	108

Figura 32 - Projeto de estruturas - Fluxo A	111
Figura 33 - Projeto de estruturas - Fluxo B	122
Figura 34 - Projeto de estruturas - Fluxo C	124
Figura 35 - Projeto de estruturas - Fluxo proposto	128
Figura 36 - Comparação entre os fluxos observados e o proposto	133

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação das etapas do processo de projeto	22
Quadro 2 - Barreiras à adoção da tecnologia BIM	34
Quadro 3 - Componentes da camada de interoperabilidade	45
Quadro 4 - Componentes da camada de domínio	46
Quadro 5 - Componentes da camada de recursos	47
Quadro 6 - Conteúdo do mapa de processo	56
Quadro 7 - Conteúdo de um requisito de troca.....	57
Quadro 8 - Conteúdo de uma parte funcional	59
Quadro 9 - Conteúdo de uma regra de negócio	61
Quadro 10 - Exemplo de Modelo de Troca	63
Quadro 11 - Etapas do descobrimento de processo e mineração de dados	65
Quadro 12 - Etapas da engenharia reversa	66
Quadro 13 - Questões do estudo de caso	81
Quadro 14 - Dimensões da observação participante	82
Quadro 15 - Testes de validade	85
Quadro 16 - IDM: Análise do projeto básico e pré-lançamento das estruturas.....	112
Quadro 17 - IDM: Modelagem e cálculo da estrutura no Scia Engineer	112
Quadro 18 - IDM: Geração dos relatórios de cálculo.....	113
Quadro 19 - IDM: Detalhamento da estrutura nos desenhos do projeto básico	113
Quadro 20 - IDM: Desenho de formas em CAD 2D.....	113
Quadro 21 - IDM: Desenho de armaduras em CAD 2D	113
Quadro 22 - IDM: Verificação dos desenhos	114
Quadro 23 - IDM: Plotagem e criação do documento resumo	114
Quadro 24 - IDM: Envio dos projetos e documentos à contratante	114
Quadro 25 - IDM: Requisito de troca T.A.1.....	116
Quadro 26 - IDM: Requisito de troca T.A.2.....	117
Quadro 27 - IDM: Requisito de troca T.A.3.....	118
Quadro 28 - IDM: Requisito de troca T.A.4.....	119
Quadro 29 - IDM: Requisito de troca T.A.5.....	120
Quadro 30 - IDM: Modelagem e geração dos desenhos de forma através do Allplan.....	123
Quadro 31 - IDM: Modelagem e geração dos desenhos de armadura no Allplan.....	123

Quadro 32 - IDM: Criação de modelo BIM preliminar no Allplan e detalhamento da estrutura	130
Quadro 33 - IDM: Refinamento do modelo BIM e geração dos desenhos de forma no Allplan	130
Quadro 34 - IDM: Refinamento das armaduras no modelo BIM e geração dos desenhos através do Allplan.....	130
Quadro 35 - IDM: Requisito de troca T.P.3	131
Quadro 36 - IDM: Requisito de troca T.P.4	132

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	Building Information Modeling
BPMN	Business Process Modeling Notation
CAD	Computer Aided Design
IAI	Industry Alliance for Interoperability / International Alliance for Interoperability
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IFD	International Framework for Dictionaries
ISO	International Organization for Standardization
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
TI	Tecnologias da Informação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2	OBJETIVO GERAL	14
1.2.1	Objetivos específicos	14
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	PROJETO	19
2.1.1	Etapas do processo de projeto	21
2.1.2	Agentes do processo de projeto.....	23
2.1.3	Importância do projeto	24
2.2	BIM – BUILDING INFORMATION MODELING	26
2.2.1	Origem.....	26
2.2.2	Definição	28
2.2.3	Benefícios do BIM	31
2.2.4	Barreiras à adoção de BIM.....	33
2.2.5	Interoperabilidade	35
2.3	IFC	36
2.3.1	Introdução	36
2.3.2	Origem.....	37
2.3.3	Desenvolvimento.....	39
2.3.4	Aspectos técnicos do padrão IFC	41
2.4	IFD	48
2.5	IDM.....	51
2.5.1	Definição de IDM	51
2.5.2	Visão, missão e objetivos do IDM	54
2.5.3	Grupos-alvo do IDM	54
2.5.4	Componentes do IDM com ênfase na visão do desenvolvedor	55
2.5.5	Componentes do IDM com ênfase na visão do usuário	61
2.5.6	Processo de desenvolvimento do IDM.....	64

2.5.7 Estado da arte	67
3 MÉTODO.....	76
3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.....	76
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	77
3.3 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS	80
3.4 FONTES DE EVIDÊNCIAS	81
3.4.1 Observação participante	82
3.4.2 Entrevistas	83
3.4.3 Análise documental.....	83
3.5 TESTES DE VALIDADE	84
3.6 SELEÇÃO DO CASO	85
3.7 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS	86
4 ESTUDO DE CASO.....	87
4.1 A EMPRESA DO ESTUDO.....	87
4.2 O SETOR DE SANEAMENTO	89
4.3 PROJETOS DO SETOR DE SANEAMENTO.....	91
4.4 PROCESSO DE EMPREENDIMENTO DE OBRAS DE SANEAMENTO	94
4.5 PROCESSO DE PROJETO DE ESTRUTURAS PARA OBRAS DE SANEAMENTO	95
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	110
5.1 FLUXO A	110
5.2 FLUXO B.....	121
5.3 FLUXO C.....	123
5.4 OBSERVAÇÕES A RESPEITO DOS FLUXOS.....	125
5.5 FLUXO PROPOSTO	127
6 CONCLUSÃO	134
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos ramos mais importantes da economia brasileira. Ela responde por cerca de 9,2% do produto interno bruto (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010) e emprega em torno de 7,44% da população ocupada (DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS, 2011). Não obstante sua importância, a construção sofre com a baixa produtividade, comparando-se com outras indústrias, com um alto grau de erros e com um relativo atraso tecnológico. Paralelamente, ainda é alvo de uma constante pressão para melhoria de seus processos e redução de desperdícios.

A modelagem da informação da construção (também chamada BIM, sigla em inglês para *Building Information Modeling*) tem o potencial para aprimorar diversas áreas relacionadas à indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC). BIM é conceituado por Eastman *et al.* (2008) como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados que visam a produção, comunicação e análise de modelos de construção. Para a *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS, 2007), BIM pode ser entendido em três níveis de abstração: como um produto (referindo-se ao modelo da edificação, uma entrega do processo de projeto), como uma ferramenta (tratando-se dos aplicativos que criam, agregam e extraem informações do modelo da edificação) e como um processo (essencialmente colaborativo, onde podem ser obtidas as informações necessárias às atividades desenvolvidas durante todo o ciclo de vida da edificação).

Apesar dos diversos benefícios relatados a partir da utilização de BIM (ALDER, 2006; EASTMAN *et al.*, 2008; SACKS; BARAK, 2008; KHANZODE; FISCHER; REED, 2008; AZHAR, 2011; GÓES, 2011; ANDRADE, 2012), sua adoção está sendo gradativa. Diversas barreiras têm sido citadas, sobressaindo-se entre estas a interoperabilidade.

Como a construção de um edifício é uma atividade que envolve diversos agentes, as informações devem ser compartilhadas de maneira eficiente. A habilidade de intercâmbio e operação de informações entre dois ou mais sistemas é chamada de interoperabilidade (EASTMAN *et al.*, 2008). Na década de 1980 surgiram os modelos de dados, que dão suporte ao intercâmbio de informações de produtos e objetos em diferentes indústrias. O modelo de dados adotado na indústria da construção é o IFC (*Industry Foundation Classes*), desenvolvido pela atual BuildingSMART a partir de 1996.

O IFC é um conjunto de classes de objetos organizado de forma hierárquica, onde é possível a representação dos diferentes componentes, produtos, processos e agentes no ciclo de vida da edificação (FERREIRA, 2005). Porém, o que foi percebido é que um modelo de dados aberto não é suficiente para que a interoperabilidade ocorra. O IFC em si não consegue capturar o modo como a informação é criada e compartilhada no ciclo de vida de um projeto (ARAM *et al.*, 2010). Concomitantemente, ao passo que as práticas de intercâmbio de informações estão sendo desenvolvidas, torna-se gradualmente clara a importância da melhoria dos fluxos de trabalho (EASTMAN *et al.*, 2008). Uma forma de aprimorar a interoperabilidade, mapear fluxos de trabalho, bem como identificar requisitos de informações, permitindo a interpretação de como os dados se ligam aos processos, é o IDM (*Information Delivery Manual*).

O IDM é uma metodologia destinada a mapear os processos que ocorrem na indústria da construção, os agentes envolvidos e os requisitos de informação de cada um desses agentes. Diferentemente do IFC, que faz referência à totalidade de informações no ciclo de vida de um empreendimento, o IDM busca dar suporte para informações específicas relacionadas às fases particulares do projeto. O IDM torna possível que o IFC se aproxime do que acontece na realidade do processo construtivo, acelerando, assim, a adoção de BIM no mercado (BUILDINGSMART, 2010).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A fase de projeto de qualquer empreendimento é de uma importância considerável. De fato, os projetos, como argumentam Adesse e Melhado (2003), devem ser valorizados como a espinha dorsal do processo de produção, na busca da racionalização de recursos e redução de desperdícios.

A modelagem da informação da construção tem grande potencial para aprimorar o processo de elaboração de projetos na indústria. Todavia, o problema da interoperabilidade deve ser tratado de forma apropriada. Além da melhoria do padrão IFC, é preciso compreender como ocorre o intercâmbio de informações durante a fase de projeto de um empreendimento. Para isso, o IDM é de grande valia.

Portanto, o problema de pesquisa do presente trabalho é a falta de explicitação do processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM – isto é, não se conhece com detalhes tal processo.

Desta forma, a questão da presente pesquisa é: como é o processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, e quais são os requisitos de informação dos intervenientes, segundo a metodologia IDM?

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é explicitar o processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, bem como identificar os requisitos de informação dos profissionais envolvidos, por meio da metodologia IDM.

1.2.1 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, através da metodologia IDM, pretende-se atingir as seguintes metas:

- a) Mapear os processos que ocorrem em um estudo de caso de um projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM;
- b) Identificar, em um estudo de caso, os requisitos de informação dos envolvidos em um projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM;
- c) Propor, para a empresa estudada, um processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento com a utilização de sistemas BIM.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como exposto previamente, a construção civil é de grande importância e representatividade na economia brasileira. Do ponto de vista ambiental, segundo John (2000), além do setor da construção “ser um dos maiores da economia, ele produz os bens de maiores dimensões físicas no planeta, sendo conseqüentemente o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia”. Sjöström (1996 *apud* JOHN, 2000) afirma que a construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos. Além de consumir uma grande quantia de recursos, a construção civil produz grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de insumos, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra, até a destinação final dada aos resíduos gerados. Segundo Barreto (2005), de 40% a 70% da massa dos resíduos urbanos são gerados pelo processo construtivo, dos quais 50% são dispostos irregularmente sem qualquer forma de segregação. Simultaneamente, Agopyan (2001) argumenta que os desperdícios na construção civil podem responder por até 25% do custo final do empreendimento. Destarte, percebe-se a necessidade de melhoria dos processos relacionados à construção.

A etapa de projeto é muito importante em qualquer empreendimento, devido, em parte, à sua capacidade de influenciar as demais fases de desenvolvimento do edifício. Além disso, Ambrozewicz (2003) relata que 60% das patologias encontradas em edificações tem sua origem nessa atividade.

O uso de tecnologias da informação (TI) pode trazer uma considerável economia nas atividades relacionadas à construção; estima-se que os custos de elaboração e desenvolvimento de projetos podem ser reduzidos em até 30% (JACOSKI; LAMBERTS, 2002). Para Caldas e Soibelman (2003), grandes oportunidades para colaboração, coordenação e troca de informações entre escritórios de projeto surgem do uso da TI na construção. Porém, Jacoski e Lamberts (2002) relatam que é “evidente que grande parte das empresas ainda está aquém, do uso efetivo dos recursos possibilitados pelas ferramentas computacionais”.

Logo, surge a necessidade do estudo detalhado e do investimento em pesquisas relacionadas à tecnologia da informação na construção. A tecnologia da informação aplicada à construção de maior destaque atualmente é a BIM. Diversos benefícios podem advir de sua utilização, como é exposto no capítulo 2.2.3. Porém, a principal barreira que impede a sua adoção generalizada é a interoperabilidade (capítulo 2.2.5).

A interoperabilidade deficiente custa anualmente à indústria da AEC (arquitetura, engenharia e construção) norte-americana mais de 15 bilhões de dólares (GALLAHER *et al.*, 2004). No Brasil, não existem dados a esse respeito. Todavia, ressalta-se a grande importância de estudos que abordem esse problema. Se a questão for tratada de forma apropriada, os benefícios que podem surgir são inumeráveis. Como assevera Nawari (2012a), o sucesso definitivo da BIM vai depender, em grande parcela, da capacidade de se capturar todas as informações relevantes de um modelo e transmiti-las eficientemente para os vários atores da indústria da construção.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação irá tratar do mapeamento dos processos e identificação dos requisitos de informação relacionados aos projetos de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM. Não são feitas considerações relacionadas ao concreto protendido ou a qualquer outro tipo de projeto estrutural. Ademais, o mapeamento feito limita-se ao que foi observado durante o estudo de caso realizado. Este ocorreu em um intervalo de tempo de julho de 2013 e janeiro de 2014, na cidade de Curitiba – PR.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo desta dissertação apresenta uma visão geral sobre a mesma. Foram estabelecidos o problema de pesquisa e os objetivos geral e específicos. Além disso, justificou-se e delimitou-se a pesquisa.

O segundo capítulo faz uma revisão bibliográfica dos tópicos de interesse, quais sejam: projeto, sua definição, suas etapas, os agentes envolvidos e sua importância; BIM, sua origem, definição, benefícios, barreiras à adoção e a questão da interoperabilidade; IFC (*Industry Foundation Classes*), padrão aberto de dados que busca a interoperabilidade na indústria da construção; IFD (*International Frameworks for Dictionaries*), que pode ser entendido como um dicionário multilíngue, como um mecanismo de mapeamento e também como uma ontologia que também visa a interoperabilidade; e o IDM (*Information Delivery*

Manual), que descreve profundamente os elementos de informação e seu intercâmbio através de modelos orientados a objetos.

No capítulo três, apresenta-se o método utilizado na pesquisa: o estudo de caso. Explana-se como foi determinado o método de pesquisa, quais foram as etapas desta, quais foram as fontes de evidências, bem como os testes de validade realizados e o método de análise dos dados. É dada especial atenção à seleção do caso e ao protocolo de coleta de dados.

O capítulo quatro exhibe os resultados do estudo de caso, ou seja, o relato do mesmo. Descreve-se detalhadamente a empresa do estudo, o setor de projeto de estruturas para obras de saneamento e o processo de projeto de tais estruturas.

A análise dos resultados é realizada no quinto capítulo. Neste, dispõe-se os mapas de processos criados para cada fluxo observado durante a coleta de dados. Apresentam-se também os requisitos de informação necessários para cada intercâmbio de dados entre os agentes do processo. Ainda, alguns comentários sobre os fluxos observados são tecidos, e um novo processo é proposto.

As considerações finais são exibidas no capítulo seis, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica é o método que, através de uma investigação detalhada, disponibiliza ao trabalho fatos e fenômenos já pesquisados e relatados em material bibliográfico existente (ROBSON, 2002). Para Gil (2002), a principal vantagem da pesquisa bibliográfica é permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. De acordo com Silva e Menezes (2001), a revisão bibliográfica contribui para obtenção de informações relacionadas à situação atual do tema ou do problema estudados, para o conhecimento de publicações existentes e aspectos já abordados, e para a verificação das opiniões similares ou contrastantes a respeito do assunto.

A revisão bibliográfica deve iniciar antes mesmo da proposição do problema de pesquisa. Após a definição deste, elabora-se um plano de assunto, que consiste na organização sistemática das diversas partes que compõem o objeto de estudo (GIL, 2002). O plano de assunto da presente pesquisa apresenta-se na Figura 1.

Figura 1 - Plano de assunto



Fonte: O autor.

Portanto, neste capítulo serão apresentados os principais conceitos referentes à pesquisa proposta: projeto, *Building Information Modeling*, *Industry Foundation Classes*, *International Framework for Dictionaries* e *Information Delivery Manuals*.

As principais fontes de dados utilizadas na revisão bibliográfica do presente trabalho foram dissertações, livros, teses, artigos de periódicos e eventos científicos, além de documentos técnicos específicos.

2.1 PROJETO

Historicamente, três fatos podem ser destacados como significativos para a origem da concepção atual do conceito de projeto: o tratado sobre arquitetura de Vitruvius, no século I a.C., que abordou teoricamente as práticas construtivas; os projetos da era do renascimento, que fizeram uso do desenho como forma de pensar e desenvolver o edifício de forma abstrata, antecipada e documentada; e o surgimento e desenvolvimento das escolas de engenharia e arquitetura e das normas de conduta, que passaram a abordar tecnologicamente a criação e validação das soluções de projeto, estabelecendo regulamentos para a atuação profissional (FABRICIO, 2002).

Nos dias de hoje, diversas são as conceituações de projeto. De acordo com a NBR 5674 (ABNT, 1999), projeto é conceituado como a descrição gráfica e escrita das propriedades de um serviço ou obra de engenharia ou arquitetura, definindo seus atributos técnicos, econômicos, legais e financeiros. Segundo Ferreira (1986), projeto "é uma ideia que se forma de executar ou realizar algo, no futuro". Para McGinty (1984) projeto é "a atividade de criar propostas que transformem alguma coisa existente em algo melhor". Nascimento e Santos (2001), afirmam que o projeto pode ser definido como a ideia que se tem para executar ou realizar algo de forma que atenda, da melhor maneira possível, às necessidades do cliente, em conformidade com seus requisitos. A Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (ASBEA, 1992) entende o projeto como o "intento, desígnio, empreendimento e, em sua acepção técnica, um conjunto de ações caracterizadas e quantificadas, necessárias à concretização de um objetivo". Já para Fabricio e Melhado (2002), projeto é o resultado das atividades mentais de cada projetista tanto quanto da interação entre os múltiplos agentes envolvidos no projeto e, também, do ambiente técnico que suporta tais processos intelectuais. Segundo Gray *et al.* (1994), o projeto é uma forma de expressão pessoal e também uma forma

de arte – uma resposta aos requisitos do cliente, que requer criatividade e originalidade para seu desenvolvimento. Stemmer (1988) vê o projeto como uma atividade criativa, intelectual, baseada em conhecimentos e em experiência, constituindo um processo de otimização.

De fato, o projeto pode ser entendido segundo diversas visões. Por instância, pode-se tratar o projeto como um processo intelectual ou criativo. Assim, segundo Fabricio (2002),

Do ponto de vista intelectual e técnico o projeto se caracteriza como um processo em que informações são criadas e tratadas por diferentes estratégias mentais e metodológicas que envolvem os sentidos, abstrações, representações, bricolagens, esquemas, algoritmos, métodos e conhecimentos. Nesse contexto, o projeto de edifícios pode ser sintetizado como um processo cognitivo que transforma e cria informações, mediado por uma série de faculdades humanas, pelo conhecimento e por determinadas ‘técnicas’, sendo orientado à concepção de objetos e à formulação de soluções de forma a antecipar um produto e sua obra.

Nessa visão, ressalta-se que as principais capacidades necessárias ao bom desenvolvimento do projeto são a análise e síntese de informações e problemas, a criatividade e o raciocínio, o conhecimento e a capacidade de comunicação de ideias (FABRICIO, 2002).

A capacidade analítica serve para que o problema do projeto possa ser deslumbrado. Isto se dá através das informações e demandas iniciais, e através da obtenção, ordenação, classificação e hierarquização de vários dados aparentemente desconexos (FABRICIO, 2002).

Através da criatividade e do raciocínio, é possível propor soluções espaciais, técnicas, funcionais, financeiras, comerciais, originais e adequadas ao problema do projeto (FABRICIO, 2002).

O conhecimento, que, por sua vez, reflete-se na solução proposta, tem origem na formação anterior do projetista, isto é, em sua experiência. A cultura construtiva de determinado local em certo período de tempo, que é inerente à formação do profissional, também permeia a resolução do problema de projeto (FABRICIO, 2002).

Por fim, a representação e a comunicação permitem que, ao mesmo tempo em que as ideias formuladas no projeto possam ser transmitidas a outrem, o próprio ato de representar uma solução influencie na solução em si (FABRICIO, 2002). Isto é, ao passo que o profissional desenvolve o projeto, a própria solução pode passar por uma transformação – a solução influencia na representação e a representação influencia na solução.

Essas quatro habilidades estão inter-relacionadas, e não seguem uma sequência rígida de desenvolvimento. Correspondentes a tais habilidades existem determinadas técnicas de auxílio (FABRICIO, 2002). Diagramas e tabelas são utilizados para sistematizar informações na fase analítica. Auxiliando a criatividade existem desenhos e esboços para a simulação de

ideias. O conhecimento é suportado através de métodos de cálculo, algoritmos numéricos e *software* de análise que se baseiam nos conhecimentos científicos da época. Ainda, os desenhos técnicos e textos explicativos viabilizam a transmissão de ideias contidas no projeto para os demais envolvidos (FABRICIO, 2002).

É interessante ressaltar ainda a visão de Kowaltowski e Pereira (2012), que afirmam que o conceito de projeto também se estende a uma análise crítica, uma avaliação que procura permitir a obtenção dos resultados pretendidos e corrigir eventuais desvios que possam surgir.

Segundo Fabricio (2002), a crescente complexidade de demandas e possibilidades tecnológicas na construção de edifícios faz com que o projeto incorpore cada vez mais consultores especializados em diferentes disciplinas e processos. Assim, a mobilização de diversos profissionais, cada um tratando de um aspecto específico do projeto, algo que remete ao modelo cartesiano de fracionamento de um problema em problemas menores, faz com que o projeto possa ser visto também como um processo social (FABRICIO, 2002). Desta forma, como um processo coletivo e interativo, o projeto requer a colaboração entre seus participantes ao mesmo tempo em que mantém espaços autônomos de atuação de cada agente especializado (MELHADO; HENRY, 2000).

A conformação de diversos profissionais em equipes multidisciplinares e fragmentadas apresenta dificuldades para o processo de projeto. De acordo com Fabricio (2002), “cada um dos agentes do empreendimento tende a privilegiar um ou alguns aspectos que lhe são mais caros, por diversas razões que vão da formação, dos gostos pessoais, aos interesses econômicos”. Assim, um bom projeto é aquele que consegue compatibilizar harmonicamente todas as soluções necessárias e, muitas vezes, mutuamente conflitantes, de maneira satisfatória a cada um dos agentes envolvidos.

2.1.1 Etapas do processo de projeto

De forma a adequar as práticas de projeto com a sua natureza complexa e multidisciplinar, ele ainda pode ser entendido como um processo gerencial. Nesta visão, o processo de projeto é dividido em diversas etapas. Segundo Tzortzopoulos (1999), “a subdivisão criteriosa do processo é de extrema importância para possibilitar uma melhor compreensão do conteúdo das ações desenvolvidas ao longo do mesmo e também a análise sistêmica e a criação de instrumentos de gestão e controle”.

Diversos autores fizeram propostas de como o projeto pode ser dividido em etapas. Na classificação de Melhado (1994) são apresentadas sete etapas: idealização; estudo preliminar; anteprojeto; projeto legal; projeto para produção; acompanhamento do planejamento e execução; e retroalimentação a partir da entrega e uso do produto. Para a NBR 13.531 (ABNT, 1995), o projeto apresenta a seguinte divisão: levantamento; programa de necessidades; estudo de viabilidade; estudo preliminar; anteprojeto; projeto legal; projeto para execução; acompanhamento da obra; e acompanhamento de uso. Tzortzopoulos (1999) decompõe o projeto em: planejamento e concepção do empreendimento; estudo preliminar; anteprojeto; projeto legal; projeto executivo; acompanhamento da obra; e acompanhamento de uso. Uma comparação entre essas etapas pode ser vista no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparação das etapas do processo de projeto

ETAPAS DO PROCESSO DE PROJETO		
Melhado (1994)	NBR 13.531 (1995)	Tzortzopoulos (1999)
Idealização	Levantamento	Planejamento e concepção do empreendimento
	Programa de necessidades	
	Estudo de viabilidade	
Estudo preliminar	Estudo preliminar	Estudo preliminar
Anteprojeto	Anteprojeto	Anteprojeto
Projeto legal	Projeto legal	Projeto legal
Projeto para produção	Projeto para execução	Projeto executivo
Acompanhamento do planejamento e execução	Acompanhamento da obra	Acompanhamento da obra
Retroalimentação a partir da entrega e uso do produto	Acompanhamento de uso	Acompanhamento de uso

Fonte: Adaptado de Mikaldo Jr. (2006)

É notado, entre as classificações apresentadas, que as principais diferenças residem nas etapas iniciais propostas pela NBR 13.531 (1995). As demais etapas apresentam-se significativamente similares, apesar de não compartilharem de uma nomenclatura padronizada.

2.1.2 Agentes do processo de projeto

Para Tzortzopoulos (1999), a “distribuição dos intervenientes em um grupo de projeto pode variar, mas ela é basicamente um agrupamento de indivíduos, cada qual com uma especialidade diferente, que se combinam para criar e manter o ambiente da construção”. De acordo com Melhado (1994), os principais agentes envolvidos nas etapas dos projetos (representados na Figura 2) são: o empreendedor, responsável pela geração do produto; o projetista, atuando na formalização do produto; o construtor, que viabiliza a fabricação do produto; e o usuário, que assume a utilização do produto.

Figura 2 - Agentes do processo de projeto



Fonte: Adaptado de Melhado (1994)

Ainda segundo Melhado (1994), o empreendedor, o construtor e o usuário podem ser considerados como clientes do projeto, levando-se em consideração a ótica da qualidade. De tal modo, o projeto “deveria levar em conta as necessidades do empreendedor, do construtor e do usuário, para então melhor satisfazê-las; nesse sentido, pode-se atribuir a cada um desses clientes um conjunto de aspectos que denotam o ponto de vista pelo qual a qualidade de um dado projeto seria avaliada” (MELHADO, 1994).

Para o empreendedor, o sucesso do projeto é balizado pelo alcance de seus objetivos empresariais, como a penetração do projeto no segmento de mercado pretendido, o

posicionamento do produto junto aos possíveis clientes, e, principalmente, o retorno financeiro do investimento feito (MELHADO, 1994).

Para o construtor, a qualidade do projeto é avaliada com base na clareza, no conteúdo, na precisão e na abrangência das informações que nele constam; tais informações demonstram-se fundamentais para promover o planejamento da execução, podendo reduzir a margem de dúvida ou necessidade de correções durante a obra (MELHADO, 1994).

Por fim, o usuário “avaliaria a qualidade do projeto na medida da satisfação de suas intenções de ‘consumo’, envolvendo conforto, bem-estar, segurança e funcionalidade, somando-se a estas, baixos custos de operação e de manutenção” (MELHADO, 1994).

2.1.3 Importância do projeto

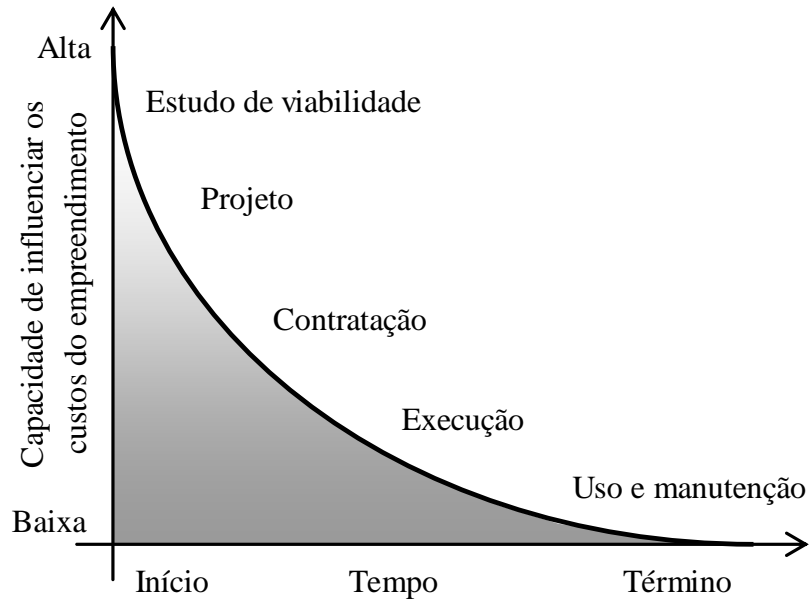
Melhado (1994) afirma que muitas empresas brasileiras têm o projeto como um custo a mais, um mal necessário em função de exigências legais. O motivo para essa visão reside no fato de que, no Brasil, não se tem a cultura (comum nos países desenvolvidos) de que o tempo de projeto deve ser da mesma ordem de grandeza do tempo dedicado à execução.

Segundo Bertezini (2006), o projeto apresenta papel estratégico tanto para o sucesso do empreendimento como das organizações, resultado do seu potencial de influência nas demais fases do processo de desenvolvimento.

Para Barros e Melhado (1993) *apud* Melhado (1994), quanto maior o custo e o tempo despendidos nas fases de concepção e projeto, maior será o potencial de redução de despesas e prazos durante a construção. Esse ponto de vista é suportado pelas pesquisas do *Construction Industry Institute* (CII, 1987), como é representado na Figura 3.

Franco e Agopyan (1993) afirmam que as alterações na fase de desenvolvimento de projeto apresentam custos menores em relação às fases posteriores, visto que estas influenciam em todas as etapas de produção, enquanto aquelas afetam apenas o trabalho dos projetistas.

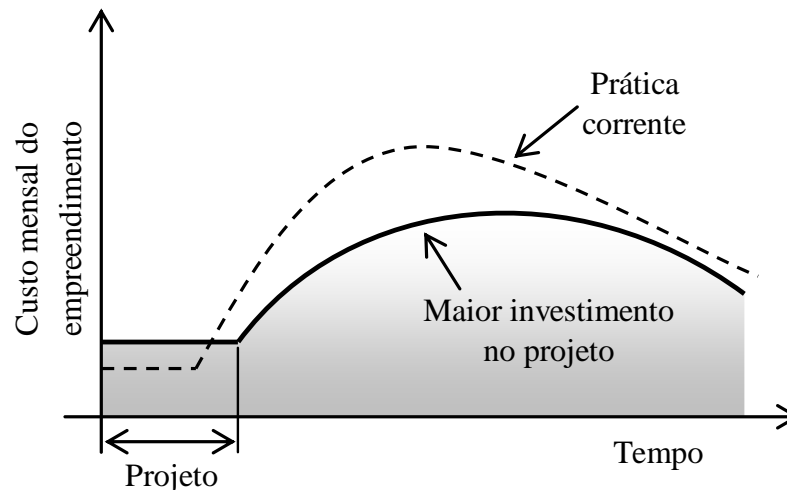
Figura 3 - Fases do empreendimento e a capacidade de influenciar os custos



Fonte: Adaptado de CII (1987 *apud* MELHADO, 1994)

Assim, segundo Melhado (1994), pode-se concluir que um investimento financeiro maior na fase de projeto e um prazo estendido para o desenvolvimento do projeto acabam por acarretar em uma economia no custo total do empreendimento. Esta ideia é exposta pela Figura 4.

Figura 4 - Maior investimento no projeto relacionado ao custo mensal do empreendimento



Fonte: Adaptado de Barros e Melhado (1993 *apud* MELHADO, 1994)

2.2 BIM – BUILDING INFORMATION MODELING

2.2.1 Origem

O processo de fabricação de produtos pouco mudou até o final do século XIX. Neste período, devido aos avanços da tecnologia, alteraram-se os requisitos da fase de concepção de produtos, e separaram-se as funções de trabalho, dando origem a uma necessidade de comunicação entre as diversas etapas de um projeto. A comunicação passou a se dar então através de desenhos técnicos (KRAUSE *et al.*, 1993).

Com o término da Segunda Guerra Mundial, a utilização do computador no desenvolvimento de produtos tornou-se realidade. Em uma reunião entre membros do *Computer Applications Group* e do Departamento de Engenharia Mecânica, ambos do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), ocorrida em 1959, delineou-se um sistema para desenvolvimento de produtos que viria a dar origem ao projeto de pesquisa *Computer-Aided Design* (CAD) (COONS, 1963; ROSS, 1961). Tal sistema deveria descrever abstrações (esquemas conceituais e ideias), realizar análises físicas e matemáticas, conectar-se com catálogos (normas técnicas, peças e materiais), interligar diversos projetistas trabalhando simultaneamente (atualizando e propagando informações automaticamente), reutilizar informações de desenho, simular o comportamento do dispositivo projetado, e até considerar diferentes visões sobre a informação, organizando a representação dos dados em função das múltiplas disciplinas envolvidas no projeto (AYRES FILHO, 2009).

Segundo Ayres Filho (2009), as funcionalidades do sistema “exigiam um modo de entrada de dados ágil e intuitivo, e a linguagem dos desenhos técnicos, já bastante desenvolvida e codificada, foi adotada para essa finalidade”. Assim, a passagem do desenho no papel para o desenho no computador foi uma consequência da ferramenta CAD, e não um objetivo em si.

Essa abordagem de desenvolvimento de produtos continuou a ser aprimorada no meio acadêmico, porém, apesar de coerente, não foi adotada pela indústria de *software*, que se concentrava no problema de mais fácil solução no momento, o desenho (AYRES FILHO, 2009). Entre as razões para isso citam-se o baixo poder de processamento dos primeiros computadores e a grande complexidade das atividades envolvidas no projeto de produtos.

Assim, os sistemas de desenho criados nesse período adotaram o nome de CAD, sem, porém, abrangerem as funcionalidades listadas anteriormente.

Com a globalização e o aumento da competitividade entre empresas, ressaltou-se a necessidade de produtos de melhor qualidade, fabricados em menos tempo e com gasto menor de recursos. Desta forma, buscaram-se novas estratégias e tecnologias que integrassem e coordenassem diferentes visões sobre o produto durante o projeto, a fabricação e a operação (KRAUSE *et al.*, 1993). Os sistemas computacionais apresentaram assim uma boa solução para esse problema, através da integração dos diferentes sistemas por meio do fluxo digital de informações.

Para Grabowski e Anderl (1983), a ferramenta principal nesse fluxo de informações era a modelagem do produto, que retomava os princípios do CAD propostos anteriormente. Através da modelagem era possível, durante a fase de concepção, a exploração, documentação, compreensão e predição de propriedades e comportamentos dos elementos representados. Podia-se verificar a conformidade do constructo proposto contra diversos requisitos estabelecidos para a fabricação e operação, além da utilização de simulações computacionais. A modelagem possibilitava ainda a comunicação mais eficiente entre as fases de desenvolvimento do produto, fato importante quando se trabalha com muitas organizações em projetos complexos (PELS, 1996).

Assim, de acordo com Ayres Filho (2009), a “funcionalidade oferecida pelos modelos de produto evoluiu em conjunto com as possibilidades técnicas dos computadores, as novas concepções de estruturação da informação trazidas pelo estudo dos modelos de dados, e as crescentes demandas por integração dos sistemas de produção”.

A construção de edifícios, por sua vez, pode ser entendida também como um processo de desenvolvimento de produto. A ideia da modelagem de produto na indústria da construção surgiu juntamente com os sistemas CAD desenvolvidos pelo grupo do MIT no início da década de 60. Os principais conceitos da modelagem de produtos aplicada à construção foram apresentados ainda na década de 70 (AYRES FILHO, 2009).

No ano de 1975, Charles Eastman apresentou a expressão *Building Description System* (BDS) para caracterizar os CADs que se baseavam em estruturas de dados contendo informação geométrica associada a atributos diversos, capazes de representar mais adequadamente os elementos de projeto (EASTMAN, 1976). O autor definiu BDSs como sistemas de informação com rotinas para entrada e manutenção de dados, processamento de análises diversas e geração automática de relatórios – os desenhos técnicos eram então considerados como relatórios gráficos do projeto. Nestes sistemas, as informações de forma

dos objetos poderiam ser integradas com informações funcionais e de desempenho, possibilitando que aplicações acessassem e manipulassem os dois tipos de dados, eliminando-se as traduções manuais que são costumeiras quando se utilizam desenhos (AYRES FILHO, 2009).

Não obstante as diversas vantagens apresentadas pela modelagem do produto na construção, a sua adoção não foi ampla. Ao tempo, a grande utilização do computador na construção era dada em desenhos. Porém, como cita Kalay (1985b), digitalizar desenhos não é uma etapa essencial no progresso de um produto da concepção à produção, mas sim uma forma de comunicar resultados de uma etapa.

A década de 1980 viu a popularização dos *Personal Computers* (PC), e, embora o nível tecnológico já possibilitasse a utilização dos conceitos iniciais do grupo de pesquisa CAD, o paradigma que ainda vigorava era o centrado no desenho. Sistemas comerciais de modelagem de edifícios já eram comercializados no início da década de 80, mesmo período do surgimento dos aplicativos para desenho (AYRES FILHO, 2009). Desta forma, percebe-se que desde o princípio existiram duas abordagens distintas para desenvolvimento dos *software* de projeto de edifícios, uma voltada para desenhos e outra voltada para modelagem de produtos.

Novas demandas de mercado exigiram que os produtos da indústria da construção fossem elaborados com maior qualidade e menores custo e prazo. Assim, como relata Eastman (1992), as ideias de 1959 do grupo CAD do MIT foram redescobertas na década de 90. Atualmente, a modelagem de produtos na construção é denominada BIM (*Building Information Modeling*), termo criado pela empresa Autodesk na década de 1990 para promover o *software* Revit (AYRES FILHO, 2009).

2.2.2 Definição

Segundo Eastman *et al.* (2008), BIM é um dos mais promissores desenvolvimentos da indústria da AEC (arquitetura, engenharia e construção), e pode ser considerada uma transição épica na prática de projeto, uma mudança de paradigma em relação aos sistemas CAD tradicionais, que, basicamente, automatizaram aspectos de produção de desenhos. Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso da edificação é construído digitalmente. Quando completo, o modelo contém informações de geometria e dados relevantes para as atividades

de construção, fabricação e licitação. Assim, cria-se um banco de dados onde os diversos agentes do processo de construção podem obter e agregar informações. De acordo com Ayres Filho (2009),

a modelagem de produto na construção chamada BIM, prototipação de edifício, modelagem de edifício, construção virtual ou qualquer outro nome, é atualmente considerada um catalisador para a adoção das práticas integradas de projeto. A sua utilização tem demonstrado significativas vantagens sobre processos tradicionais, mesmo em situações de integração limitada (por exemplo, apenas entre o projeto arquitetônico e o estrutural).

Para Eastman *et al.* (2008), a definição do que constitui tecnologia BIM é vítima de confusão devido, em grande parte, às empresas de *software* tentarem descrever as capacidades de seus produtos. No entanto, para os autores o que pode ser caracterizado como não sendo BIM são:

- a) Modelos que contêm apenas dados em 3D, e nenhum ou poucos atributos de objetos;
- b) Modelos que não têm suporte à inteligência paramétrica;
- c) Modelos que são compostos por diversas referências 2D que precisam ser combinadas para definir uma edificação;
- d) Modelos nos quais alterações em dimensões em uma vista não são automaticamente refletidas em outras.

Neste ponto é importante a definição de o que é um objeto paramétrico, crucial para o entendimento de o que é *building information modeling*. Eastman *et al.* (2008) afirmam que tecnologias que possibilitam a criação de modelos de edificações que consistem de objetos paramétricos são consideradas ferramentas BIM. Para os autores, um objeto paramétrico BIM possui as seguintes características:

- a) Consiste de definições geométricas e dados e regras associados;
- b) A geometria é integrada sem redundância, possibilitando que não existam inconsistências. Em outras palavras, as dimensões não podem ser forçadas;
- c) Regras paramétricas para objetos automaticamente modificarem geometrias associadas quando inseridos no modelo da edificação ou quando mudanças são feitas em objetos associados. Por exemplo, uma porta irá se ajustar automaticamente a uma parede, e atender mudanças feitas a esta;

- d) Objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação. Ou seja, podem ser definidos tanto os objetos em si, como seus componentes. Se um componente é alterado, o objeto do qual ele faz parte também se modifica;
- e) As regras do objeto podem detectar quando alguma mudança viola as condições que dizem respeito à viabilidade do objeto, como tamanho e construtibilidade;
- f) Objetos tem a capacidade de compartilhar seus atributos com outras aplicações e modelos.

Neste contexto, Eastman *et al.* (2008) conceituam BIM como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados que visam a produção, comunicação e análise de modelos de construção.

Para Robinson (2007), BIM é uma ferramenta colaborativa usada pelos membros da indústria da AEC baseada em um número de soluções de *software*. Ainda, o autor afirma que o um modelo BIM incorpora todos os componentes ou objetos da edificação, incluindo suas geometrias, relações espaciais, propriedades e quantidades, além de todas as informações referentes a serviços e equipamentos para todo o ciclo de vida da edificação.

A *General Services Administration* (GSA, 2007) trata BIM como o desenvolvimento e uso, através de *software*, de um modelo de dados multifacetado para simular a construção e operação do edifício, e não apenas documentar o projeto. O resultado é uma representação digital da edificação rica em dados, baseada em objetos, inteligente e paramétrica, de onde diversos usuários podem extrair informações relevantes a seus propósitos, além de possibilitar o *feedback* e aprimoramento do projeto.

De acordo com a *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS, 2007), BIM pode ser entendido em três níveis de abstração: como um produto, como uma ferramenta e como um processo. Como um produto, BIM diz respeito ao modelo da edificação, uma entrega do processo de projeto criada a partir de ferramentas de tecnologia da informação. Como ferramenta, BIM faz alusão aos *software* que criam, agregam e extraem informações do modelo da edificação. BIM pode ser entendido também como um processo colaborativo, de forma que podem ser obtidas as informações necessárias às atividades desenvolvidas durante todo o ciclo de vida da edificação.

Para Gao, Mahalingam e Nguyen (2008), BIM é uma tecnologia que permite, além da visualização e modelagem em três dimensões, acesso integrado às informações gráficas e não gráficas do modelo da edificação.

2.2.3 Benefícios do BIM

A indústria da AEC sofre pressões de diversas formas. Constantemente exigem-se reduções de tempo e custo em projeto e construção. Paralelamente, a complexidade dos projetos aumenta, buscando, entre outros objetivos, a sustentabilidade ambiental e a melhoria do desempenho das edificações. Posto isso, a tecnologia BIM pode suprir e aprimorar diversas práticas correntemente utilizadas. Eastman *et al.* (2008) apresentam os principais benefícios do uso da tecnologia BIM, destacando-se:

- a) Aumento da performance e da qualidade da edificação;
- b) Aumento da colaboração a partir do uso de técnicas de projeto integrado;
- c) Visualizações mais precisas e antecipadas do projeto;
- d) Correções automáticas quando mudanças são feitas no projeto;
- e) Geração de desenhos 2D precisos e consistentes em qualquer estágio do projeto;
- f) Colaboração antecipada das múltiplas disciplinas do projeto;
- g) Extração das estimativas de custo durante o projeto;
- h) Uso do modelo como base para construção de componentes pré-fabricados;
- i) Descoberta de erros e omissões de projeto antes da construção;
- j) Melhor operação e manutenção das edificações.

Eastman *et al.* (2008) ainda complementam afirmando que o BIM redistribui a alocação de esforços durante o projeto, colocando-se maior ênfase em questões mais importantes, como as conceituais. Na construção, a tecnologia BIM, através de um modelo de edifício bem desenvolvido, permite que os processos da execução ocorram de forma planejada e organizada, reduzindo-se custos, tempo de execução e potenciais erros e conflitos.

Procurando estudar os benefícios da BIM, Sacks e Barak (2008) avaliaram o impacto da modelagem paramétrica de edificações na produtividade de projetos de engenharia de estruturas. Desenvolveram-se experimentos procurando comparar a modelagem paramétrica com o método 2D. Percebeu-se que os benefícios que podem vir da modelagem paramétrica variam com o grau de atividade de cada empresa. No entanto, pode-se atingir um aumento da produtividade variando de 21% a 61%. Ainda, uma redução entre 15% e 41% das horas gastas em cada projeto pode ser alcançada. Isso tudo aponta para uma possível mudança nas estruturas das empresas que adotam BIM. A análise indicou que o número de funcionários necessários para a produção de desenhos tende a declinar drasticamente. Entretanto, será necessário pessoal qualificado para o desenvolvimento dos modelos BIM, visto que há a

necessidade de conhecimentos específicos da área. Aponta-se, também, a possibilidade de os próprios engenheiros assumirem uma parcela maior da carga total de trabalho, ou, ainda, o surgimento da função de modelador BIM.

Azhar (2011) apresenta diversos estudos de casos onde foram percebidos benefícios provenientes da modelagem de informações na construção. Os benefícios apresentados vão desde os devidos a uma compatibilização de projetos eficiente, reduzindo assim futuros problemas na construção, até aqueles resultantes da preparação ágil de alternativas projetuais associadas aos seus respectivos orçamentos.

Khanzode, Fischer e Reed (2008) estudaram os benefícios da implementação de tecnologia BIM na coordenação de sistemas mecânicos, elétricos e hidrossanitários (MEP) em projetos tecnicamente desafiadores. A título de informação, em instalações de alta tecnologia, de saúde e de indústrias biotecnológicas, os sistemas MEP podem responder por até 50% do valor do empreendimento. Com a utilização de BIM perceberam-se menos conflitos em campo (nenhuma interferência existiu com os sistemas modelados em BIM). Ocorreu a economia de cerca de 9 milhões de dólares (aproximadamente 10% do custo total do projeto), além de o término ter se dado 6 meses antes do planejado. Os modelos gerados serviram como *as-built* da obra, além de terem sido utilizados na manutenção da edificação posteriormente. O construtor pode despende mais tempo no planejamento da obra em si, ao invés de estar corrigindo interferências de projeto. Os empreiteiros dos subsistemas perceberam um aumento na produtividade de 5 a 25%. Por fim, o proprietário passou a exigir que todos os seus empreendimentos fossem desenvolvidos com tecnologia BIM, atestando a eficiência do método.

Góes (2011) desenvolveu um trabalho buscando identificar o potencial de aplicação de ferramentas BIM para a compatibilização de projetos de edificações. Para tanto, fez-se um estudo de caso através dos modelos BIM do pavimento tipo de um edifício residencial, englobando projetos arquitetônico, estrutural, elétrico, hidrossanitário e de ar condicionado. Expõe-se que através do método de compatibilização BIM pode-se detectar no total 75% mais interferências em comparação ao método 2D. Segundo Góes (2011) “a modelagem tridimensional BIM não só possibilita melhor visualização do projeto, mas seu próprio processo de desenvolvimento permite a detecção de interferências relativas à falta e à incoerência de informações”.

Alder (2006) comparou o tempo e a precisão de levantamentos de quantitativos através de ferramentas CAD 2D e *software* BIM por meio de um estudo onde diversos

participantes extraíram quantitativos de um projeto. Foi possível avaliar que a tecnologia BIM é mais rápida e mais precisa para a tarefa estudada.

Andrade (2012) estudou a contribuição de sistemas BIM ao processo de orçamentação de obras públicas através de uma análise comparativa entre os processos de CAD tradicional e utilizando a modelagem de informações na construção. Foi percebido que a BIM permite um maior controle sobre o projeto desenvolvido, além de apresentar uma exatidão consideravelmente maior que o método convencional.

Através de uma série de questionários aplicados em diversos países, Yan e Damian (2008) listaram os principais benefícios percebidos por usuários de BIM: redução do tempo gasto nas atividades, redução dos recursos humanos necessários, redução de custos e melhora da qualidade dos produtos.

2.2.4 Barreiras à adoção de BIM

De acordo com Melhado e Aquino (2001), a defasagem tecnológica dos processos envolvidos na construção resulta em maiores custos, desperdício de materiais, baixas produtividade e qualidade dos produtos. Segundo Nascimento e Santos (2002), a indústria da construção possui características claramente conservadoras, o que dificulta a adoção de avanços tecnológicos e mantém-na atrasada com relação a outros setores. Os autores classificam as barreiras para o uso da TI na construção civil em quatro grupos:

- a) Aspectos profissionais: profissionais pouco qualificados, resistentes à mudança, trabalhando de forma individual e com metodologias diferentes;
- b) Processos gerenciais: falta de padronização na comunicação e não utilização de tecnologias recentes, além da presença de métodos de gestão ultrapassados;
- c) Empresas e a cultura corporativa: falta de treinamento e investimentos em TI, e baixa confiança nos resultados proporcionados por esta;
- d) Aspectos tecnológicos: segurança da informação, altos custos de aquisição e manutenção dos equipamentos.

Assim, como era de se esperar, apesar de todas as vantagens que a tecnologia BIM pode proporcionar, nem todos a abraçaram. Ibrahim (2006 *apud* MÜLLER, 2011) afirma que os principais obstáculos para adoção da modelagem de informações na construção podem ser

classificados em dois tipos: barreiras na área de gerenciamento de projetos e barreiras na área de treinamento de pessoal, ambas expostas no Quadro 2.

Quadro 2 - Barreiras à adoção da tecnologia BIM

BARREIRAS À ADOÇÃO DA TECNOLOGIA BIM	
Gerenciamento de projetos	Escolha do <i>software</i> que melhor se adapte às necessidades da empresa
	Incompreensão do verdadeiro potencial da tecnologia BIM
	Insegurança com relação ao trabalho em conjunto com outras especialidades, através do uso de diversos formatos e plataformas
	Seleção do momento e do projeto a ser usado como piloto
	Necessidade da existência de um plano B, caso a transição para a tecnologia BIM não ocorra como esperado
Treinamento de pessoal	Usuários de CAD tradicional têm mais dificuldade de utilizar sistemas BIM, em comparação às pessoas que não utilizaram o CAD convencional
	Enfoques diferenciados devem ser dados ao treinamento dos diversos funcionários
	Quando da contratação de novos funcionários, estes devem também receber o treinamento nos sistemas BIM, visando manter a equipe homogênea
	As universidades ainda não oferecem a formação adequada aos estudantes, que saem da academia com uma visão conservadora em relação ao tema

Fonte: Baseado em Ibrahim (2006) *apud* Müller (2011)

Por sua vez, Azhar (2011) menciona barreiras de dois tipos: técnicas e gerenciais. As barreiras técnicas dizem respeito à necessidade de: modelos de processos bem definidos, que eliminem os problemas de interoperabilidade; dados de projeto computáveis; estratégias práticas eficientes para a troca e integração de informações relevantes a respeito do modelo da edificação. As barreiras gerenciais envolvem aspectos da implementação eficaz da modelagem de informações, treinamento de profissionais, tópicos jurídicos relacionados aos contratos BIM, entre outros.

Andrade e Ruschel (2009) citam a falta de padronização e comunicação entre os projetos de construção como um grande problema no processo tradicional de projeto, e elevam-no como um impedimento real à plena implementação dos sistemas BIM na indústria. De fato, como ressalta Chastain *et al.* (2002), tecnologias como a modelagem do produto só podem ser inteiramente adotadas a partir da reestruturação de boa parte dos processos

existentes, que historicamente são orientados por um paradigma originado em um contexto anterior às tecnologias da informação.

Deve-se ter em mente que pesquisadores, desenvolvedores de *software* e usuários têm de elaborar soluções que procurem vencer as barreiras existentes. Desta maneira, o uso de BIM na indústria da AEC tende a crescer drasticamente (AZHAR, 2011).

2.2.5 Interoperabilidade

Segundo Eastman *et al.* (2008), o projeto e a construção de um edifício são atividades de grupo. Cada uma das tarefas e das especialidades envolvidas no processo de projeto é suportada por aplicações computacionais específicas. Além das informações relacionadas à geometria e aos materiais, existem diversos tipos de análises que precisam ser realizadas (estrutural, energia, custos, tempo, elétrica, hidráulica), cada uma com sua representação própria do edifício. Assim, percebe-se a necessidade da transferência de dados entre aplicativos e entre profissionais.

Eastman *et al.* (2008) afirmam que a habilidade de intercâmbio e operação de informações entre dois ou mais sistemas é chamada de interoperabilidade. Para os autores, a interoperabilidade, no mínimo, elimina a necessidade da inserção manual de dados introduzidos em outras aplicações, tarefa extremamente suscetível a erros humanos. Além disso, ela proporciona um fluxo eficiente entre as tarefas envolvidas nos processos construtivos.

Pels (1996) afirma que, mesmo nas situações que envolvem apenas algumas poucas informações além dos desenhos, existe o problema da interoperabilidade. Modelos de produtos existiam desde o início da tecnologia CAD, porém, os mesmos eram pouco compartilhados entre diferentes disciplinas e atividades.

A interoperabilidade tem tradicionalmente se baseado em formatos de troca limitados, baseados exclusivamente em geometria, como o DXF (*drawing exchange format*) (EASTMAN *et al.*, 2008). Na década de 1980 surgiram os modelos de dados, que dão suporte ao intercâmbio de informações de produtos e objetos em diferentes indústrias. A partir disso nasceu o IFC (*Industry Foundation Classes*), que será explorado em detalhes na próxima seção. O IFC, o IDM (*Information Delivery Manual*) e o IFD (*International Framework for*

Dictionaries) são os três conceitos principais que dão a base da interoperabilidade entre aplicativos BIM atualmente.

É importante citar que, ao passo que as práticas de intercâmbio de informações estão sendo desenvolvidas, torna-se gradativamente clara a importância da melhoria dos fluxos de trabalho (EASTMAN *et al.*, 2008). Tal melhoria pode ressaltar as principais características da modelagem de informações na construção, permitindo que a indústria desfrute plenamente dos benefícios que o BIM pode proporcionar. Uma das formas para mapear fluxos de trabalho e requisitos de informações é o IDM, que também será abordado em detalhes oportunamente.

2.3 IFC

O IFC é um padrão aberto de dados que visa à interoperabilidade na indústria da construção civil. Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos referentes a ele.

2.3.1 Introdução

A característica fragmentada da indústria e a adoção heterogênea de tecnologia impediram que a interoperabilidade nos processos da construção fosse completamente atingida. Por outro lado, os avanços em BIM permitiram mudanças singulares em empreendimentos de construção, reduzindo as incertezas inerentes às atividades.

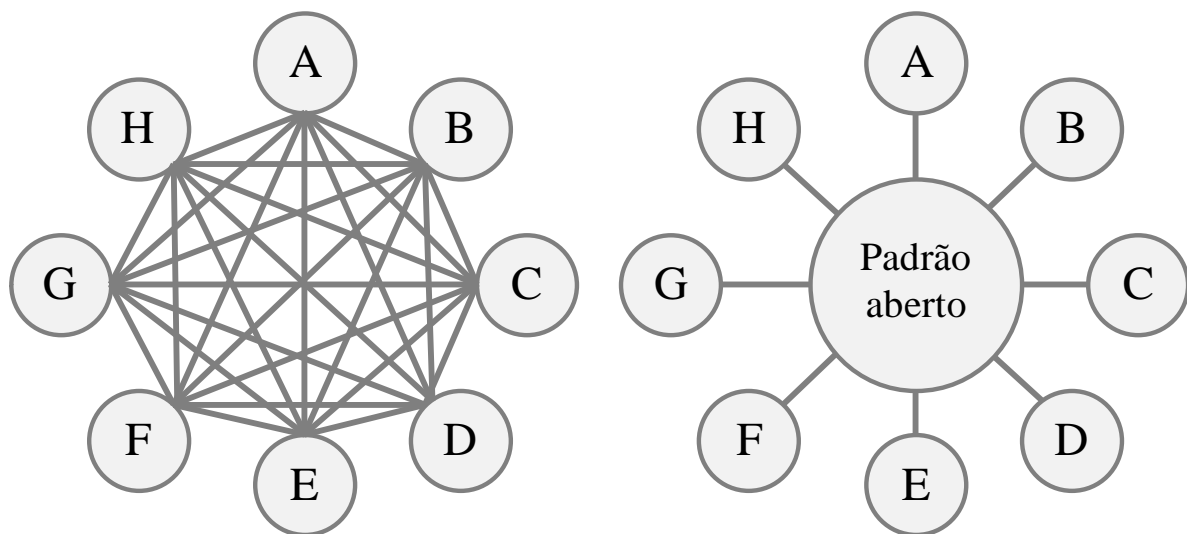
É necessário, porém, que os dados de modelos BIM sejam legíveis, editáveis, e compartilhados entre os vários sistemas no decorrer das diversas fases do ciclo de vida de uma edificação. A interoperabilidade entre sistemas de informação, portanto, tem potencial para consideráveis reduções de desperdícios.

Enquanto a maioria dos usuários finais de aplicativos desconhece técnicas de programação, formatos de dados, protocolos e outros, são significativas as implicações dos padrões no desenvolvimento e no uso de tecnologia. A interoperabilidade baseada em padrões abertos apresenta diversos benefícios. Um padrão pode ser entendido como

uma especificação aprovada de um conjunto limitado de soluções para problemas reais ou potenciais, preparada para beneficiar a parte ou partes envolvidas, balanceando suas necessidades, pretendida e esperada para ser utilizada repetidamente e constantemente, durante certo período, por um número substancial de partes para o qual ela foi feita. (DE VRIES, 2005).

Quando da não existência de um padrão aberto, cada aplicação deve contar com tradutores diretos para todos os *software* com os quais almeja se comunicar. O modelo de tradutores diretos é, normalmente, proprietário e guardado por interesses comerciais, sendo comum a existência de problemas relacionados com versões de *software*, acesso futuro aos dados, responsabilidade por erros de tradução, certificação e teste dos tradutores (BLOOR; OWEN, 1995 *apud* LAAKSO; KIVINIEMI, 2012; GIELINGH, 2008). Entretanto, se o padrão aberto existe, as aplicações podem apenas traduzir os seus dados para ele, tornando possível a comunicação com qualquer outro *software*. Uma comparação das duas alternativas para interoperabilidade é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Tradutores diretos e padrão aberto de interoperabilidade



Fonte: Baseado em Bloor e Owen (1995) *apud* Laakso e Kiviniemi (2012)

2.3.2 Origem

O progresso no intercâmbio de informações de produto pode ser dividido em três fases distintas: soluções específicas (*ad hoc*), que nasceram nos anos 1950; formatos CAD

neutros, que surgiram na década de 1980; e padrões STEP, lançados nos anos 1990 (BLOOR; OWEN, 1995 *apud* LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

O desenvolvimento do padrão STEP se iniciou em 1984, a partir da constatação do subcomitê TC184/SC4 da ISO (*International Organization for Standardization*) que os formatos existentes na época não poderiam dar suporte às necessidades de uma modelagem computacional padronizada e aberta para diversas indústrias (BLOOR; OWEN, 1995 *apud* LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

A especificação STEP formalizou uma longa lista de esforços de padronização existentes, inclusive os da indústria da construção. Porém, tão logo iniciaram-se os trabalhos para padronização, percebeu-se a necessidade de uma modelagem de dados robusta, não proporcionada por nenhuma das linguagens vigentes à época (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

Nesse contexto, desenvolveu-se um esforço para a criação da linguagem que posteriormente ficou conhecida como EXPRESS (KEMMERER, 1999 *apud* LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Os conceitos de relacionamentos, atributos, restrições e herança são fundamentais na linguagem EXPRESS. Os modelos de informação podem ser lidos por máquinas ou por humanos, sendo possível expressá-los graficamente, através da notação EXPRESS-G (SCHENK; WILSON, 1994 *apud* LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

Em 1994, a versão inicial do STEP, desenvolvida juntamente com a EXPRESS, se tornou um padrão internacional, a ISO 10303 (1994), *Industrial Automation Systems and Integration – Product data representation and exchange*.

Por mais promissora que poderia parecer a ideologia de agregar em um único padrão uma extensa gama de indústrias, a motivação para a criação de um padrão estrito à construção começou a surgir. Em agosto de 1994, iniciou-se a aliança de doze empresas norte-americanas (incluindo Autodesk, Primavera, Softdesk, AT&T e outras) visando avaliar a possibilidade do desenvolvimento de um padrão aberto para dar suporte à tecnologia de modelagem da informação da construção, emergente no período (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

Essa aliança chamou-se inicialmente *Industry Alliance for Interoperability* (mais tarde, em 1996, ela passou a se chamar *International Alliance for Interoperability*, de sigla IAI), e foi formalmente fundada em setembro de 1995, abrindo o consórcio para que outras empresas aderissem à causa (IAI, 1999).

2.3.3 Desenvolvimento

Em 1996, a IAI havia estabelecido sete capítulos, cada um representando uma organização distinta de uma determinada região do globo: países de língua francesa, países de língua alemã, Japão, países nórdicos, América do Norte, Singapura e Reino Unido (IAI, 1999). Cada capítulo possuía administração e estrutura hierárquica próprias. No ano de 1999, a IAI já estava presente em 20 países, tendo 600 empresas como membros (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

Como visão, a IAI afirmou buscar a interoperabilidade de *software* na indústria da construção, e, como missão, “Definir, promover e publicar uma especificação para compartilhamento de dados no ciclo de vida do projeto, globalmente, através das disciplinas e através das aplicações técnicas” (IAI, 1999). Assim surgiu o IFC (*Industry Foundation Classes*).

Apesar da dificuldade de se criar um padrão aberto internacional que englobasse todos os dados do ciclo de vida de uma edificação, o desenvolvimento técnico do IFC (que começou formalmente em setembro de 1995) não partiu do zero. Muitos recursos contidos no formato STEP foram incorporados (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

Em janeiro de 1997, com escopo limitado, focado na parte arquitetônica do modelo de informação, o IFC 1.0 foi publicado. O uso dado ao IFC 1.0 foi de protótipo – algumas empresas desenvolveram implementações para, primeiramente, se observar como o IFC se comportava e, posteriormente, gerar maior estabilidade para o projeto do IFC 1.5 (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

O ciclo de desenvolvimento do IFC 1.5 iniciou-se em fevereiro de 1997 e teve fim em novembro de 1997. Todavia, devido a problemas que surgiram com o modelo, por volta de julho de 1998 foi lançado o IFC 1.5.1, o primeiro a ser suportado por *software* BIM comerciais.

O IFC 2.0 teve seu desenvolvimento iniciado em dezembro de 1996 e terminado em abril de 1999. Ele foi, de fato, a primeira versão internacional do padrão, passando a incorporar conceitos de serviços, estimativa de custos e planejamento da construção (LIEBICH, 2010). No entanto, o progresso lento do padrão e seu escopo reduzido frustraram muitos integrantes do consórcio (KIVINIEMI, 2006 *apud* LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). A recepção da indústria ao padrão foi considerada indiferente, e sua aplicação a projetos do mundo real demonstrou-se reduzida. Portanto, mudanças tiveram de ser feitas para que o

padrão sobrevivesse. Entre elas está o processo de normalização do padrão IFC junto à ISO, aumentando assim sua legitimidade.

Em outubro do ano de 2000, foi publicado o IFC 2x, que era, primeiramente, uma versão para dar estabilidade ao IFC 2.0, dotado de alguns problemas devido ao seu escopo ampliado.

No mês de maio de 2003 o IFC 2x2 foi lançado com um considerável aumento do escopo, englobando, entre outros, análise estrutural, detalhamento estrutural e gerenciamento de facilidades (LIEBICH, 2010). Nesse período surgiam também os primeiros esforços relacionados ao ifcXML, uma representação em linguagem XML do modelo IFC.

Em 2006 o consórcio IAI alterou seu nome para BuildingSMART. Passou a ser dada ênfase aos benefícios de um processo de construção integrado, e a visão do consórcio foi alterada para “Melhorar a comunicação, a produtividade, o tempo de entrega, os custos, e a qualidade no ciclo de vida da edificação” (STANGELAND, 2009).

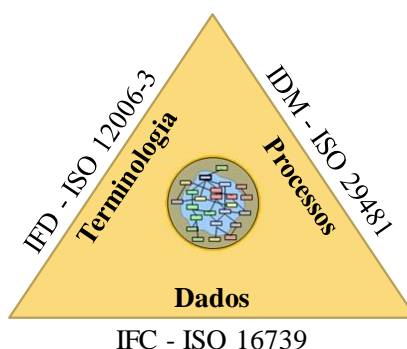
Buscaram-se, nesse período, métodos para estreitar e exprimir as trocas de dados IFC em especificações manejáveis, implementáveis e previsíveis (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Dessa maneira surgiu o IDM (*Information Delivery Manual*, exposto em detalhes na seção próxima), que é um instrumento que procura mapear os processos que ocorrem na indústria de construção, os agentes envolvidos, os requisitos de informação necessários e quais entidades do modelo IFC dão suporte a tais requisitos.

Nasceu, também nessa época, o conceito de *IFC Model View Definition* (MVD), de característica bastante técnica. Os MVDs são definidos a partir do modelo IFC (ou seja, representam uma parcela do modelo IFC), e são atualmente utilizados para certificação de *software*.

Além do IDM e do MVD, surgia ainda o IFD (*International Framework for Dictionaries*, detalhado na sequência), que proporciona um mecanismo que permite a criação de dicionários ou ontologias, conectando a informação de bancos de dados existentes a modelos de dados IFC (BELL; BJORKHAUG, 2006).

A BuildingSMART entende que o IFC, o IDM e o IFD, juntamente com suas normas regulamentadoras, são a base da modelagem da informação da construção (Figura 6).

Figura 6 - Padrões da BuildingSMART



Fonte: Baseado em BuildingSMART (2012)

O IFC 2x3, lançado em fevereiro de 2006, demonstrou-se uma versão de estabilidade, permitindo que implementadores se familiarizassem com as muitas adições constantes do IFC 2x2 (LIEBICH, 2010). Nesse período, o processo de certificação IFC dos aplicativos foi reformulado, levando-se em consideração agora os MVDs.

Enquanto o IFC 2x3 foi conservador em termos de novas funcionalidades, o IFC4, seu sucessor, proporciona muitas melhorias e extensões ao formato. Entre outros avanços, o IFC4 conecta todas as definições de propriedades com o dicionário de dados BuildingSMART baseado na web, o IFD.

2.3.4 Aspectos técnicos do padrão IFC

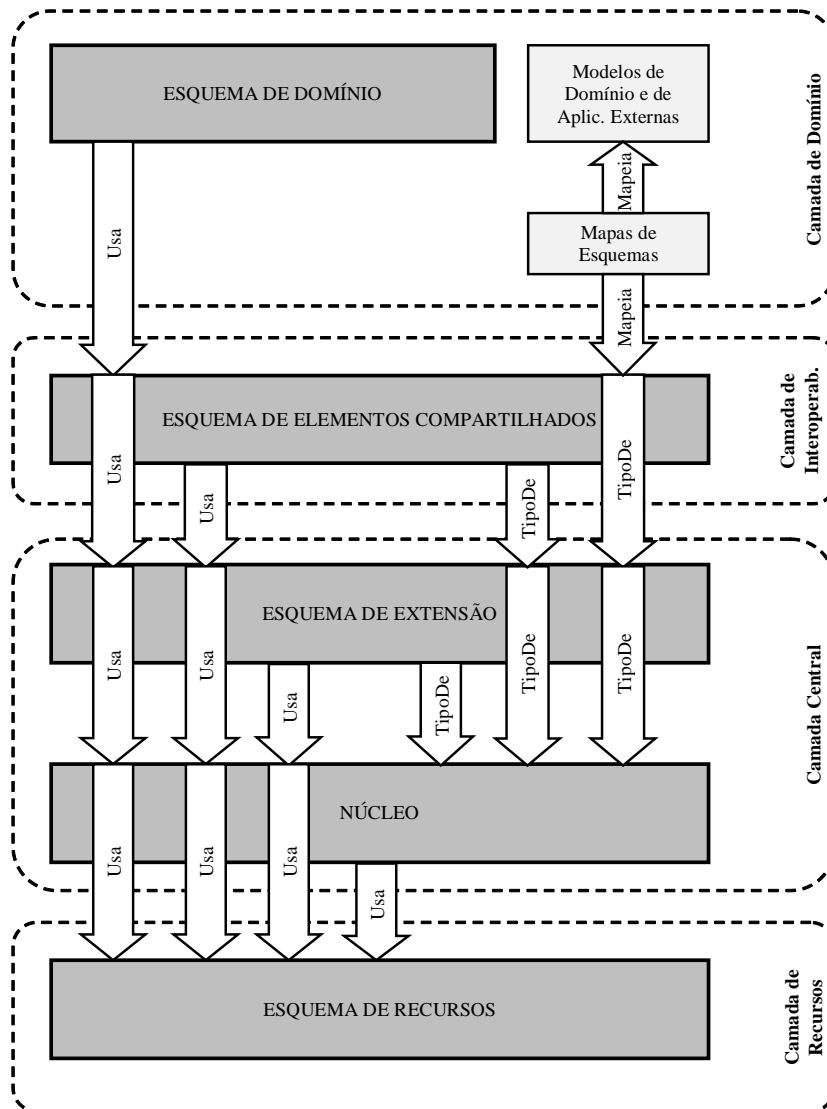
O padrão IFC apoia-se em elementos do paradigma da orientação a objetos, sendo constituído por um conjunto de classes de objetos organizado de forma hierárquica, onde é possível a representação dos diferentes componentes, produtos, processos e agentes no ciclo de vida da edificação (FERREIRA, 2005). A linguagem utilizada para o desenvolvimento do IFC foi a EXPRESS, empregada também no padrão STEP, e regida pela ISO 10303-11.

Segundo a IAI (2000), a arquitetura do padrão IFC foi desenvolvida segundo os seguintes princípios:

- a) Proporcionar uma estrutura modular ao modelo;
- b) Proporcionar um arcabouço para o compartilhamento de informações entre as diferentes disciplinas da AEC;
- c) Facilitar a manutenção e o desenvolvimento contínuos do modelo;

- d) Permitir aos modeladores reutilizar componentes do modelo;
- e) Permitir aos desenvolvedores reutilizar componentes de *software*;
- f) Facilitar a provisão de uma melhor compatibilidade entre versões.

Figura 7 - Estrutura de dados do padrão IFC

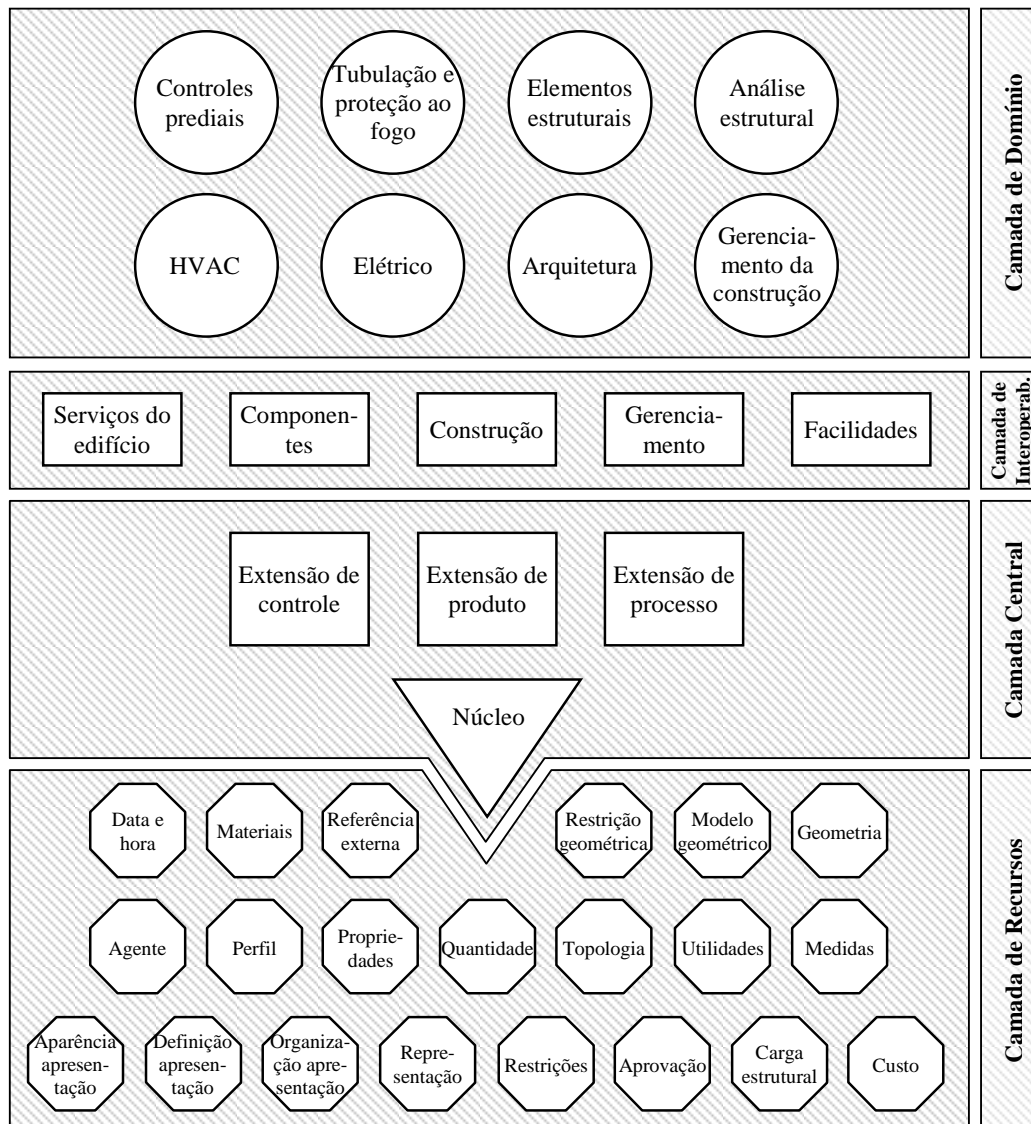


Fonte: Baseado em BuildingSMART (2012)

A estrutura de dados do padrão IFC é dividida em quatro camadas: recursos, central, interoperabilidade e domínio. Os relacionamentos entre essas camadas podem ser observados na Figura 7. Tal estrutura é regida pela lei da “gravidade”, ou seja, cada camada só pode referenciar as camadas inferiores a ela.

Os vários componentes do IFC4, separados por camadas, podem ser observados na Figura 8 e são delineados nas seções seguintes.

Figura 8 - Componentes do IFC4



Fonte: Baseado em BuildingSMART (2012)

A título ilustrativo, na Figura 9 apresenta-se um trecho de código do modelo IFC de uma edificação.

Figura 9 - Trecho de código IFC

```
#237= IFCAXIS2PLACEMENT3D (#234, #235, #236);
#238= IFCDIRECTION ((0., 0., 1.));
#239= IFCEXTRUDEDAREASOLID (#228, #237, #238, 5700.);
#240= IFCSHAPEPRESENTATION(#16, 'Body', 'SweptSolid', (#239));
#241= IFCSTYLEDITEM (#239, (#38), $);
#242= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE ($, $, (#240));
#243= IFCBEAM ('2I0mXNzV9CaAVjVbmmXiwl', #8, 'B9', $, $, #233, #242, $);

#244= IFCMATERIAL('C40/50');
#245= IFCREASSOCIATESMATERIAL('3PjYY04JfDkxe8wzpwBAwU', #8, $, $, (#243), #244);

#246= IFCARTESIANPOINT ((100., -250.));
```

Fonte: O autor.

2.3.4.1 Camada central

A camada central é a mais genérica da arquitetura do IFC. Ela pode ser referenciada e particularizada por qualquer camada acima na hierarquia. A estrutura básica, os relacionamentos fundamentais e os conceitos comuns para possíveis especializações em aspectos particulares do modelo são todos proporcionados por ela (BUILDINGSMART, 2012).

Estão abrangidos na camada central (BUILDINGSMART, 2012):

- a) Núcleo: define a parcela mais abstrata da especificação. Captura construções gerais, que são fundadas por seus significados semânticos distintos, como objeto, propriedade e relacionamento. Além disso, especifica os atributos e relacionamentos básicos, como localização dos produtos no espaço, sequência dos processos no tempo, entre outros;
- b) Extensão de controle: declara classes básicas para controlar objetos, além de declarar classes para associar objetos da camada de recursos de característica de controle com qualquer subtipo do núcleo;
- c) Extensão de produto: especializa os conceitos relacionados a um produto físico, que normalmente terá uma determinada forma e localização no contexto do projeto. Inclui a definição de elementos de construção, de terreno, de espaço, de relacionamento entre esses elementos, e outros.
- d) Extensão de processo: captura informações que dão suporte ao mapeamento de processos, e o planejamento de atividades e seus respectivos procedimentos e recursos. Inclui a definição de planos de trabalho, identificação do relacionamento entre processos e seus recursos, alocação de recursos nos planos, entre outros.

2.3.4.2 Camada de interoperabilidade

A camada de interoperabilidade, em essência, proporciona objetos e relacionamentos mais especializados, compartilhados por múltiplos domínios. Ela pode ser referenciada pela camada de domínio, superior na hierarquia (BUILDINGSMART, 2012). Os componentes desta camada podem ser visualizados no Quadro 3.

Quadro 3 - Componentes da camada de interoperabilidade

COMPONENTE	DESCRIÇÃO
Serviços	Define conceitos básicos para a interoperabilidade entre os domínios de HVAC (<i>heating, ventilation and air conditioning</i>), Elétrico, Proteção ao Fogo e Controles Prediais
Componentes	Proporciona a representação de diferentes tipos de componentes pequenos, como acessórios e fixadores
Construção	Principais elementos que constituem o projeto arquitetônico da edificação. Inclui paredes, vigas, colunas, lajes, esquadrias, entre outros, que são centrais ao intercâmbio de informações
Gerenciamento	Define conceitos básicos que são corriqueiros no gerenciamento durante o ciclo de vida da edificação. Procura capturar informações que dão suporte ao controle do escopo, do tempo e do custo do projeto. Inclui elementos como cronogramas, ordens de compra, orçamentos, entre outros
Facilidades	Define conceitos básicos relacionados à gestão de facilidades, como mobília, ativos, inventário de objetos, manutenção, entre outros

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2012)

2.3.4.3 Camada de domínio

A camada de domínio, além de conter especializações finais das entidades, não pode ser referenciada por nenhuma outra camada. Os domínios são especificados de acordo com as disciplinas particulares da indústria, e podem ser visualizados no Quadro 4 (BUILDINGSMART, 2012).

Quadro 4 - Componentes da camada de domínio

COMPONENTE	DESCRIÇÃO
Controles prediais	Amplia os conceitos de serviços da camada de interoperabilidade, englobando aspectos de automação predial, controle, instrumentação e alarme
Tubulação e proteção ao fogo	Amplia os conceitos de serviços da camada de interoperabilidade, englobando aspectos de serviços externos à edificação, elementos sanitários e de esgotamento, elementos de proteção contra incêndio, como extintores, hidrantes, entre outros
Elementos estruturais	Proporciona a representação de elementos de natureza estrutural, além dos especificados na camada de interoperabilidade. Contém entidades como sapatas, estacas, armaduras de reforço, tratamentos estruturais, entre outros
Análise estrutural	Descreve o modelo de análise estrutural. Utiliza os elementos existentes da edificação e associa a suposições de cunho estrutural. Inclui a especificação de elementos planos, lineares, curvos, pontos, cargas de diversas naturezas, além dos resultados da análise
HVAC	Amplia os conceitos de serviços da camada de interoperabilidade, englobando aspectos de tubulações, peças e conexões de sistemas de ar condicionado, ventilação e exaustão, água quente, água fria, gás, equipamentos de tais sistemas, entre outros
Elétrico	Amplia os conceitos de serviços da camada de interoperabilidade, englobando todos os sistemas cabeados de energia, iluminação, telecomunicações, segurança, sinais, controle, os equipamentos relacionados a esses sistemas, suas conexões, entre outros
Arquitetura	Define conceitos básicos utilizados no domínio da arquitetura que não foram referenciados em outras camadas. Como exemplo, citam-se os parâmetros de painéis de portas e janelas
Gerenciamento da construção	Engloba e amplia os conceitos de outras camadas relacionados ao gerenciamento, capturando informações para suportar processos de negócio específicos. Inclui aspectos relacionados aos recursos utilizados no processo de construção, produtividade, tempo, custo, quantitativos, entre outros

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2012)

2.3.4.4 Camada de recursos

A camada de recursos é a de nível mais baixo, podendo, portanto, ser referenciada por qualquer outra camada. De fato, as definições dessa camada não podem existir

independentemente, isto é, precisam estar referenciadas em outra camada. Os componentes da camada de recursos podem ser visualizados no Quadro 5 (BUILDINGSMART, 2012).

Quadro 5 - Componentes da camada de recursos

COMPONENTE	DESCRIÇÃO
Data e hora	Define conceitos específicos sobre data e tempo que podem ser utilizados em calendários, cronogramas, entre outros
Materiais	Define os materiais dos quais os produtos são feitos
Referência externa	Proporciona os meios para acessar informações de fontes externas, como classificações, dicionários e <i>libraries</i>
Restrição geométrica	Determina a localização do objeto com relação a sua representação, e determina restrições aplicadas para a conectividade entre duas formas de objetos
Modelo geométrico	Define os recursos utilizados para a representação geométrica do modelo
Geometria	Define os recursos utilizados para a representação de geometria, podendo ser utilizado nos recursos do modelo geométrico
Agente	Permite a representação de informações relacionadas a uma pessoa ou organização que irá executar algum trabalho ou ter alguma responsabilidade no ciclo de vida da edificação
Perfil	Define os perfis bidimensionais ou seções transversais utilizados para representações de formas geométricas através de revoluções, extrusões e outros
Propriedades	Define um conjunto básico de propriedades que são definidas semanticamente por um nome e são extensíveis em suas definições
Quantidade	Define um conjunto de quantidades básicas que pode ser associado com produtos, levando-se em consideração um determinado método de medição
Topologia	Define os recursos utilizados para representações topológicas. É empregado principalmente na representação de limites de geometrias ou produtos
Utilidades	Trata dos conceitos de posse (<i>ownership</i>), mudança (histórico) e tabelas
Medidas	Define unidades e tipos de medidas que podem ser assinalados a quantidades
Aparência apresentação	Define recursos utilizados para representações geométricas e apresentações de itens de estilo. Apresenta as ocorrências de anotação de curvas, textos, símbolos e superfícies
Definição apresentação	Define recursos utilizados para representações geométricas e apresentações de itens de estilo. Define as ocorrências de anotação de curvas, textos, símbolos e superfícies
Organização apresentação	Define recursos utilizados para representações geométricas e apresentações de itens de estilo. Apresenta as ocorrências de anotação de curvas, textos, símbolos e superfícies, proporcionando atribuições de camadas
Representação	Define a representação de forma e topologia de produtos. Possibilita múltiplas representações para o mesmo produto
Restrições	Proporciona as especificações de restrições que podem ser aplicadas aos objetos
Aprovação	Define conceitos básicos de aprovações que podem ser dadas a objetos, documentos, propriedades, pessoas, organizações, materiais e outros
Carga estrutural	Define as cargas estruturais, os resultados, as condições de contorno e as conexões que, por sua vez, possibilitam a especificação de forças, momentos, deslocamentos e outros
Custo	Proporciona os meios para identificação de custos

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2012)

2.4 IFD

No ano de 1999, durante reuniões da ISO em Vancouver, diversas organizações envolvidas no desenvolvimento de padrões para a indústria da construção chegaram à conclusão de que era necessário algum tipo de terminologia global padronizada. Tal terminologia deveria ser estruturada de forma apropriada para que computadores pudessem fazer o intercâmbio de dados, independentemente de línguas. Isto é, constatou-se que a existência de um vocabulário controlado da terminologia utilizada na construção, que lidasse com diferentes idiomas, era essencial para a troca de informações entre os agentes envolvidos em determinado projeto (BUILDINGSMART, 2008).

Assim surgiu a norma ISO 12006-3 – *Framework for Object-oriented Information Exchange* (ISO, 2007). Após sua publicação, foram empreendidas duas iniciativas para o desenvolvimento de bancos de dados para a indústria da construção, a STABU LexiCon na Holanda, e a BARBi na Noruega. Mais tarde, em janeiro de 2006, elas se uniram e criaram a *International Framework for Dictionaries Library* (BUILDINGSMART, 2008).

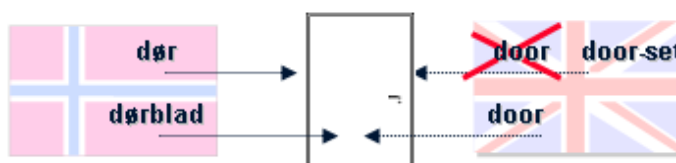
Em abril de 2009 a IFD Library foi reconhecida pela BuildingSMART, e passou a se reportar a ela. À época foram estabelecidos os seguintes objetivos (BUILDINGSMART, 2008):

- a) Gerenciar e desenvolver uma biblioteca IFD aberta, internacional e multilíngue, baseada nos princípios da norma ISO 12006-3;
- b) Estabelecer e operar a IFD Library como componente da BuildingSMART, sendo uma entidade sem fins lucrativos, porém autossustentável;
- c) Dar suporte para a implementação da tecnologia BuildingSMART na indústria da construção mundial, através da extensão do padrão IFC e a integração do IFC com o IDM.

A IFD Library pode ser entendida como um dicionário multilíngue, como um mecanismo de mapeamento e também como uma ontologia. Como um dicionário, é interessante ressaltar que o IFD separa os nomes e idiomas dos conceitos em si. Não se trata apenas de um mapeamento de palavras de uma língua para outra, mas sim um mecanismo onde o conceito é algo separado, ligado às palavras que o descrevem tão somente através de relacionamentos. O exemplo citado por Bjorkhaug e Bell (2007) e apresentado na Figura 10 demonstra claramente essa ideia. Na Noruega, a palavra para porta diz respeito a todo o conjunto necessário para que a porta seja instalada. No entanto, no Reino Unido a palavra

porta diz respeito apenas à folha desta. Portanto, percebe-se que uma mesma palavra pode apresentar diferentes conceitos. Em tempo, é importante observar que o IFD permite também que vários nomes, abreviações e descrições sejam atribuídos ao mesmo conceito – por exemplo, em inglês uma viga pode ser chamada tanto de *beam* quanto de *truss* (BJORKHAUG; BELL, 2007).

Figura 10 - O mesmo conceito apresentando diferentes palavras para representá-lo

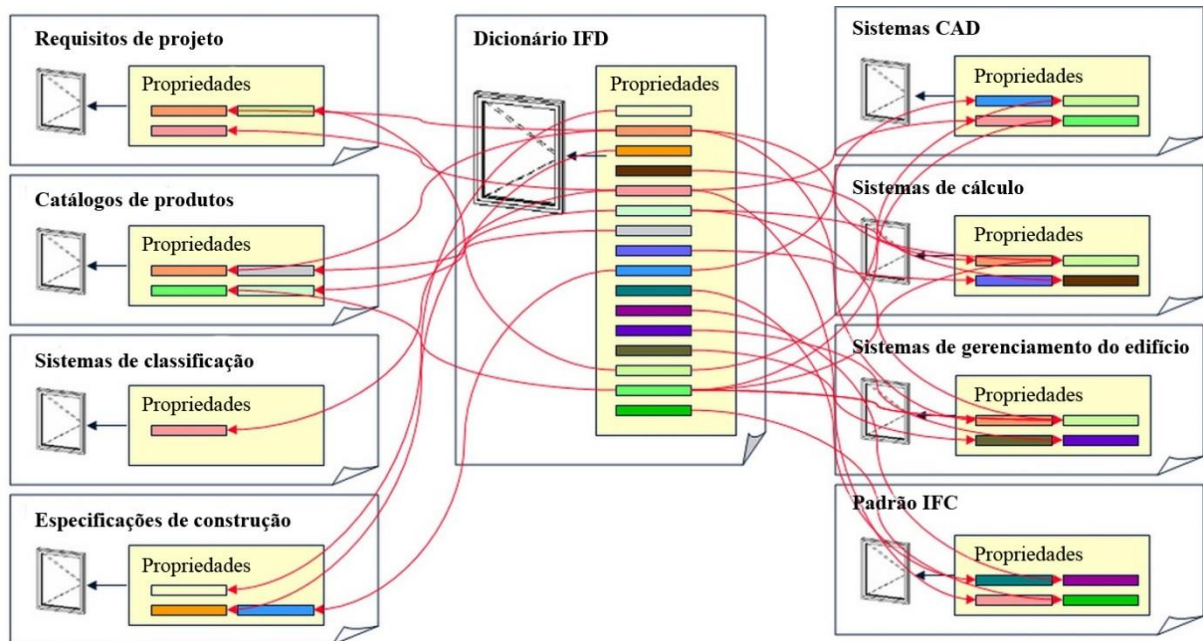


Fonte: Bjorkhaug e Bell (2007)

Ainda hoje, muitas das informações relacionadas aos conceitos são compartilhadas entre os profissionais através de textos. Suponha-se que um arquiteto queira prover informações sobre o material de uma viga ou de um pilar. No padrão IFC isso seria feito através de uma *string*, isto é, um texto simples. Mesmo que o texto esteja gramaticalmente correto, não existe nenhuma segurança que o *software* de destino entenda o que o texto quer dizer, ou seja, perdeu-se a semântica. Se for utilizada uma língua ou dialeto diferente para a mesma palavra, a situação é agravada. Essa situação pode ser resolvida através da utilização da biblioteca IFD juntamente com o IFC4. Ambos dão suporte à marcação da informação através de um identificador global único (GUID). Dessa forma, um arquiteto pode fornecer as informações em chinês enquanto o receptor com seu *software* pode entendê-las em português, desde que o GUID correto seja utilizado. Enquanto as *strings* podem auxiliar a leitura humana, os GUIDs possibilitam que as máquinas “entendam a semântica” da informação.

As propriedades referentes a um conceito também são tratadas na IFD Library. Neste ponto a IFD Library é tratada como um mecanismo de mapeamento. Tome-se, por exemplo, uma janela. Diversas propriedades relacionadas a ela podem ser encontradas em variadas fontes, como catálogos de produtos, sistemas de simulação, especificações, entre outros (BJORKHAUG; BELL, 2007). Todas essas propriedades podem vir a fazer parte do conceito janela (Figura 11).

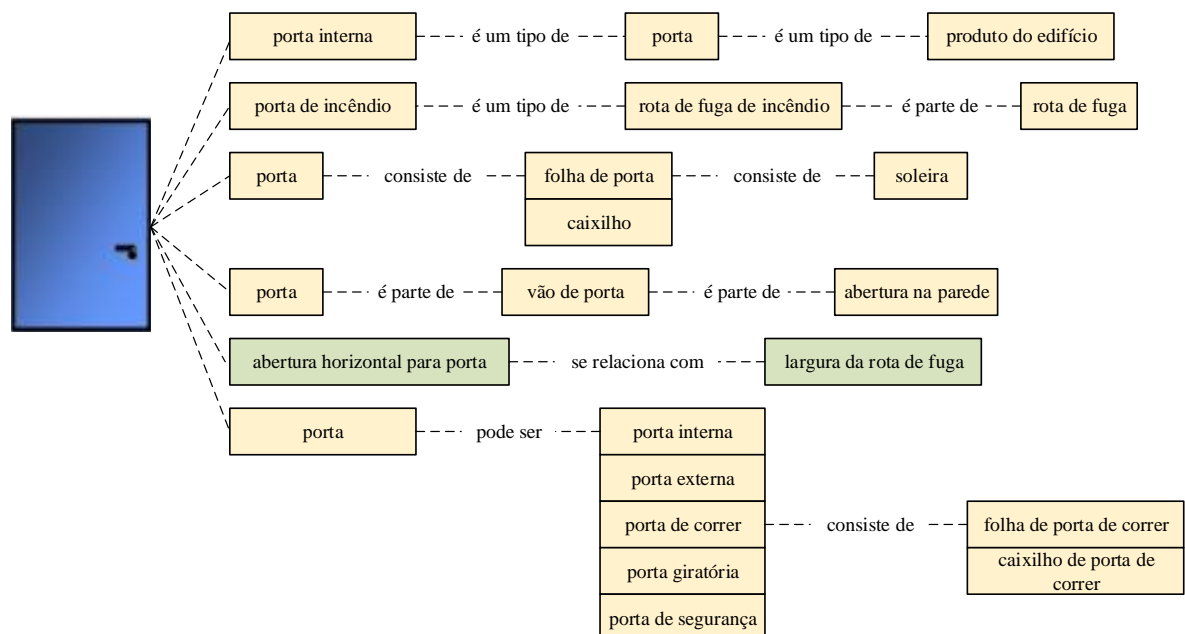
Figura 11 - Propriedades do conceito janela na biblioteca IFD



Fonte: Adaptado de Bjorkhaug e Bell (2007)

Em ciência da informação, uma ontologia descreve indivíduos, classes, propriedades, relacionamentos e eventos. Logo, como uma ontologia a IFD Library procura entender o relacionamento que existe entre os diversos conceitos que fazem parte dela. A Figura 12 apresenta essa ideia para um conceito de porta.

Figura 12 - IFD como uma ontologia



Fonte: Adaptado de Bjorkhaug e Bell (2007)

2.5 IDM

O IDM é uma metodologia destinada a mapear os processos que ocorrem na indústria da construção, os agentes envolvidos, os requisitos de informação destes e quais partes do modelo IFC dão suporte a tais requisitos. Neste capítulo, serão apresentados os principais conceitos referentes ao IDM.

2.5.1 Definição de IDM

O uso efetivo e generalizado de BIM só irá de fato acontecer quando a comunicação, a troca e o compartilhamento de informações entre os diversos agentes do processo construtivo forem confiáveis. É imprescindível que os dados que um determinado profissional necessita estejam disponíveis no tempo certo e com qualidade adequada. Para isso se suceder, o fluxo de atividades e as informações que são criadas e consumidas durante o mesmo devem ser conhecidos apropriadamente.

O IFC (*Industry Foundation Classes*) propõe uma referência à totalidade das informações do ciclo de vida de uma construção. Todas as informações relacionadas às organizações envolvidas e às etapas do projeto são incorporadas. Isso seria vantajoso caso fosse necessário trocar ou compartilhar todas as informações de um projeto, algo que não condiz com a prática corrente. Na realidade, as informações que são trocadas são referentes a um tópico em particular, em uma determinada fase do projeto. Ou seja, apenas uma parcela do IFC precisa ser compartilhada. É possível concluir, portanto, que o IFC não agrega uma referência compreensiva para os processos individuais que se desenvolvem durante um empreendimento (BUILDINGSMART, 2010).

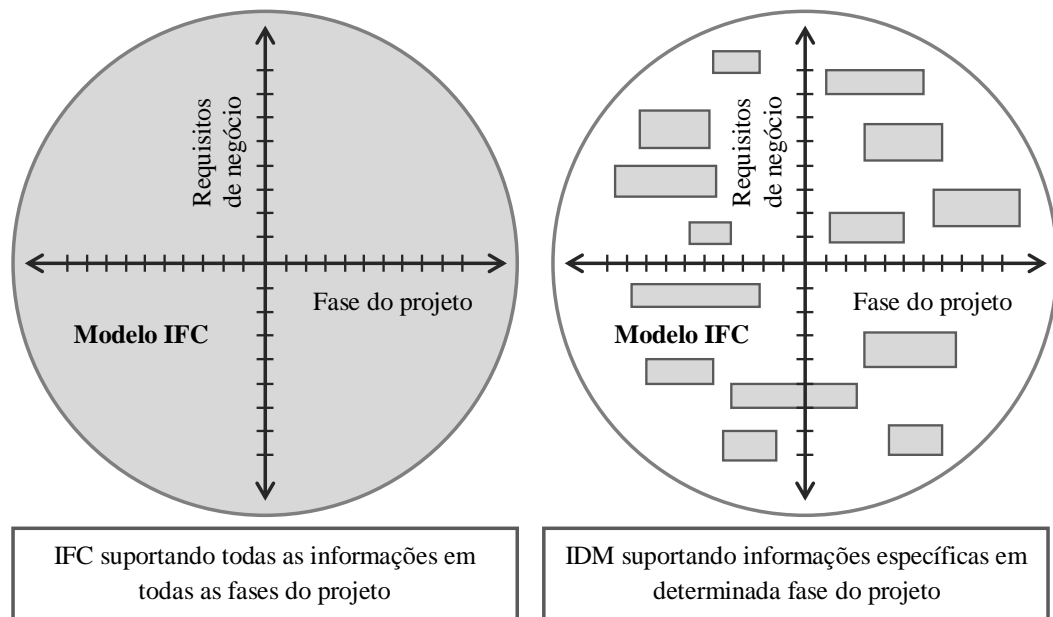
Posto isso, o IDM procura proporcionar uma referência integrada para processos e informação no contexto BIM. Ele identifica os processos que acontecem dentro da atividade construtiva, a informação indispensável para que aconteçam e os resultados que geram (BUILDINGSMART, 2010). Ainda, segundo a BuildingSMART (2010) o IDM deve especificar:

- a) Onde um processo se encaixa e por que ele é relevante;
- b) Quem são os atores criando, consumindo e se beneficiando das informações;

- c) Quais são as informações criadas e consumidas;
- d) Como tais informações devem ser suportadas por soluções de *software*.

Diferentemente do IFC, que faz referência a todas as informações do ciclo de vida do projeto, o IDM busca dar suporte a informações específicas relacionadas à uma fase particular do projeto (Figura 13).

Figura 13 - IDM suportando processos específicos



Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

Segundo Berard e Karlshoj (2012), o IDM é uma linguagem de modelagem de processos de negócio que pretende suprir as deficiências de outras linguagens semelhantes. O IDM é tanto um produto quanto uma metodologia. Como produto, ele descreve profundamente os elementos de informação e seu intercâmbio através de modelos orientados a objetos. Como uma metodologia, utiliza um processo colaborativo de reengenharia que envolve múltiplas competências (BERARD; KARLSHOJ, 2012).

Em se tratando de modelagem de processos, Andery (2000) afirma que ela é fundamental para a compreensão do desenvolvimento de produtos e para a proposição de melhoras nesse processo. De acordo com Araújo, Mendes e Toledo (2001), para que ocorra a melhoria de qualquer processo, é preciso, inicialmente, levantar e modelar o processo atual para, em seguida, propor alternativas. Para Romano *et al.* (2001 *apud* FABRICIO, 2002), as justificativas para se modelar um processo de projeto de edifícios são:

- a) Compreender o processo de desenvolvimento do produto;
- b) Explicitar o conhecimento dos profissionais e empresas envolvidas;
- c) Subsidiar a organização do processo;
- d) Dar uma maior eficiência à seleção e treinamento dos agentes do projeto;
- e) Melhorar a interação entre os intervenientes no processo, na medida em que permite racionalizar e garantir o fluxo de informações;
- f) Melhorar o processo de planejamento de novos empreendimentos e projetos;
- g) Subsidiar a escolha ou desenvolvimento de sistemas computacionais de suporte ao processo de projeto;
- h) Padronizar as atividades executadas pelos diversos projetistas com o estabelecimento de procedimentos internos mais consistentes com a realidade das áreas envolvidas, facilitando igualmente as atividades de revisão e compatibilização de projetos, bem como a implantação de sistemas de gestão da qualidade e certificação;
- i) Identificar problemas e promover melhorias no processo de desenvolvimento de produto.

Retornando ao IDM, é ressaltado que ele torna possível que o IFC se aproxime do que acontece na realidade do processo construtivo, acelerando, assim, a adoção de BIM no mercado. Como principais benefícios do IDM, a BuildingSMART (2010) cita:

- a) Para usuários BIM, o IDM proporciona uma descrição de fácil entendimento dos processos construtivos, dos requisitos de informação necessários ao bom andamento dos processos e dos resultados esperados ao fim destes. Isso fará com que:
 - a. a troca de informações entre participantes do projeto seja mais confiável;
 - b. a qualidade da informação aumente;
 - c. a tomada de decisão seja de maior qualidade;
 - d. o desenvolvimento de projetos em BIM seja mais eficiente.
- b) Para desenvolvedores de *software*, o IDM identifica e descreve os arranjos funcionais dos processos e as capacidades que precisam ser suportadas pelo IFC. Isso fará com que:
 - a. a resposta às necessidades do usuário seja melhor;
 - b. seja garantida a qualidade da troca de informações;
 - c. seja possível o reuso de componentes dos *software*.

2.5.2 Visão, missão e objetivos do IDM

Segundo a BuildingSMART (2010), a visão do IDM é unir a descrição de processos de negócios com a especificação da informação no ciclo de vida de um projeto de construção. De tal modo, é possível alcançar todos os benefícios provenientes da melhoria de processos e do compartilhamento de informações.

Como missão, a BuildingSMART (2010) afirma que o IDM deve proporcionar:

- a) Uma referência compreensiva dos requisitos de informação da indústria da construção, através da identificação dos processos que necessitam de troca de informações, e da informação requerida e resultante de tais processos;
- b) Uma base para o desenvolvimento consistente de modelos de processo específicos do projeto;
- c) Uma base de comum acordo entre os participantes sobre quais informações devem ser razoavelmente esperadas para que sejam suportados processos específicos.

Os objetivos do IDM são (BUILDINGSMART, 2010):

- a) Definir os processos dentro da construção cujos usuários necessitam de troca de informações;
- b) Especificar as capacidades IFC requeridas para suportar tais processos;
- c) Descrever os resultados dos processos que podem ser utilizados em processos subsequentes;
- d) Identificar os atores enviando e recebendo informações dentro do processo;
- e) Assegurar que definições, especificações e descrições sejam feitas de forma útil e de fácil entendimento para o grupo-alvo.

É interessante ressaltar que os objetivos a), c) e d) são destinados aos usuários, enquanto os objetivos b) e e) procuram suprir as necessidades dos desenvolvedores.

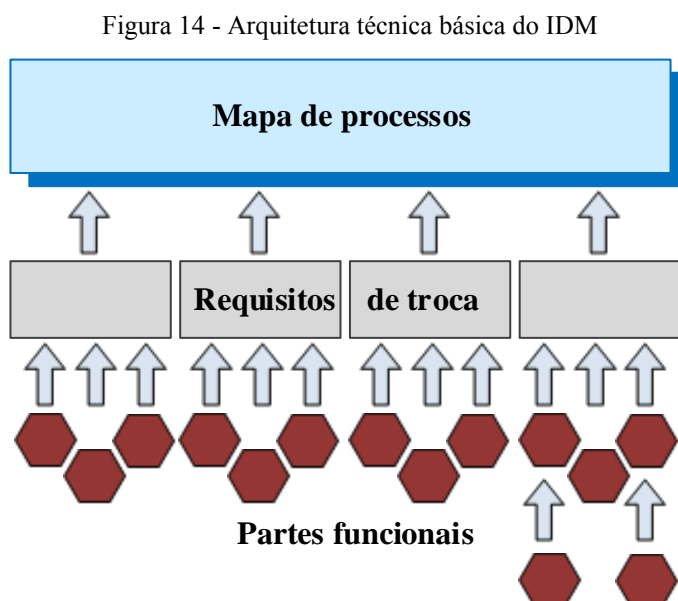
2.5.3 Grupos-alvo do IDM

Existem três grupos principais para os quais um IDM é desenvolvido (BUILDINGSMART, 2010):

- a) Usuário executivo: é a pessoa que toma a decisão de usar a troca de informações com base em IFC e que tem conhecimento dos processos de negócio e do impacto que uma melhoria causaria;
- b) Usuário final: é a pessoa que usa o IFC para troca de informações na prática e precisa saber exatamente qual informação esperar e como usá-la nos processos;
- c) Desenvolvedor de soluções: é a pessoa ou organização que escreve uma aplicação com interface IFC, e precisa saber o que o usuário executivo e o usuário final esperam de tal aplicação. Necessita também ter conhecimento técnico do modelo IFC.

2.5.4 Componentes do IDM com ênfase na visão do desenvolvedor

Um IDM, segundo a BuildingSMART (2010), possui diversos componentes que interagem entre si. Esses componentes podem ser visualizados na arquitetura técnica do IDM, que é organizada segundo o princípio de que as camadas superiores relacionam-se com os processos, as camadas intermediárias com os dados e as camadas inferiores com os elementos de *software* (Figura 14). Nesta seção serão detalhados os principais componentes de um IDM, quais sejam: mapas de processo, requisitos de troca, partes funcionais, modelo de requisitos de troca e regras de negócio.



Fonte: Adaptado de BuildingSMART, (2010)

2.5.4.1 Mapa de processo

Um mapa de processo descreve o fluxo de atividades dentro do limite de um determinado tópico, buscando entender como o trabalho é empreendido, quem são os atores envolvidos e quais são as informações necessárias, consumidas e produzidas para se atingir um objetivo bem definido (BUILDINGSMART, 2010).

Em essência, o mapa de processo determina o limite para as informações contidas em um processo, estabelece as atividades do processo e sua sequência lógica, identifica os requisitos de troca que dão suporte às atividades e possibilita a determinação de processos de referência (BUILDINGSMART, 2010). Ainda segundo a BuildingSMART (2010), um mapa deve ter uma meta e entradas e saídas específicas. O mapa usará recursos e tem um número de atividades executadas em determinada ordem. Ele pode afetar mais de uma organização e deve criar algum tipo de valor para o seu consumidor.

A BuildingSMART (2010) afirma que a notação preferida para o desenvolvimento de um mapa de processo é a BPMN (*Business Process Modelling Notation*), de autoria do *Object Management Group* (OMG). A BPMN é uma notação de processos que procura ser compreensível para proprietários de negócios, analistas, desenvolvedores técnicos e pessoas que irão atuar no processo em questão (BPMN, 2014). Em outras palavras, a BPMN procura oferecer maneiras fáceis de comunicar as informações relacionadas a um processo para todos os seus intervenientes. Um manual abrangente sobre a linguagem pode ser obtido no site da OMG (<http://www.bpmn.org/>). O conteúdo que um mapa de processo deve deter pode ser visualizado no Quadro 6.

Quadro 6 - Conteúdo do mapa de processo

SEÇÕES	DESCRIÇÃO
Cabeçalho	Informações administrativas dos requisitos de troca que satisfazem o processo
Visão global	Descrição do processo como um todo, seu conteúdo e seu objetivo
Especificação de processos	Descrição de cada processo do mapa no grau de detalhe requerido
Especificação de objetos de dados	Especificação das informações que são importadas para o mapa, exceto os requisitos de troca
Especificação dos requisitos de troca	Um tipo de objeto de dado, o qual deve ser dada maior atenção na descrição
Especificação de pontos de coordenação	Pontos no mapa onde as informações dos requisitos de troca são agregadas para permitir a coordenação e a tomada de decisão

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

2.5.4.2 Requisito de troca

Requisito de troca é um conjunto de informações que precisa ser compartilhado para dar suporte a um processo em certa fase do projeto. Ele descreve o conjunto de informações de um processo executado por um determinado participante, conjunto esse que possibilita uma ou mais atividades serem executadas na sequência por outros atores. Ou seja, representa a conexão entre processos e dados (BUILDINGSMART, 2010).

O conteúdo de um requisito de troca pode ser visualizado no Quadro 7.

Quadro 7 - Conteúdo de um requisito de troca

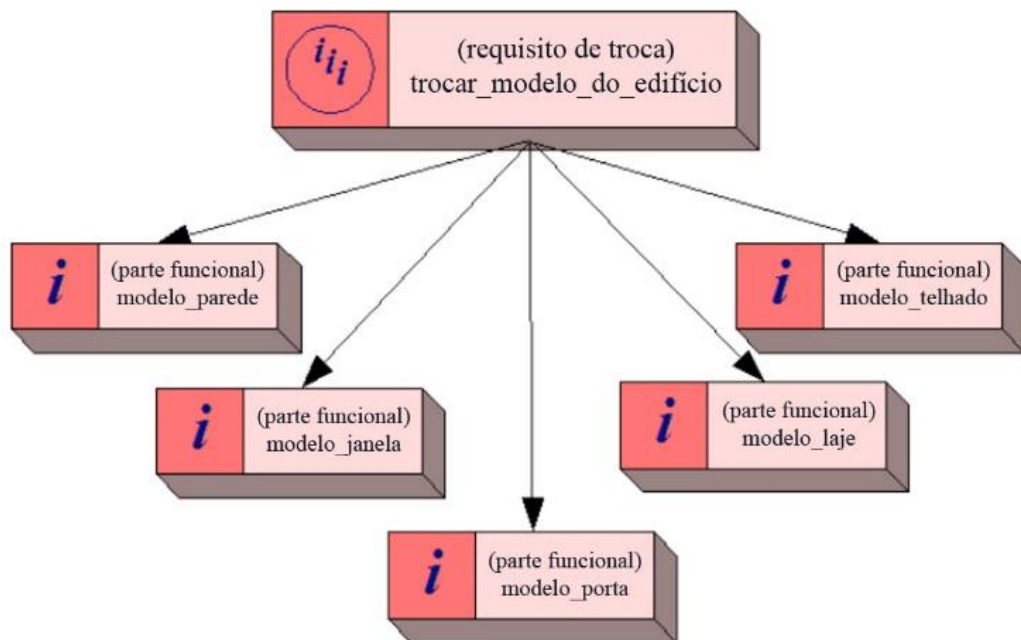
SEÇÕES	DESCRIÇÃO
Cabeçalho	Informações administrativas do requisito de troca, incluindo a ou as fases em que ele se aplica
Visão global	Onde serão expostos o foco e o conteúdo do requisito de troca em termos familiares para os usuários (engenheiros, arquitetos, projetistas). Deve demonstrar-se claramente o que o requisito de troca procura suprir, não necessitando informar como isso será feito (papel do desenvolver de <i>software</i>)
Requisitos de informação	Os requisitos de informação proporcionam o arranjo das informações técnicas requeridas pelo requisito de troca. As informações são técnicas do ponto de vista das ações que ocorrem no projeto, e não no tocante à solução de <i>software</i> necessária. As informações necessárias podem ser do tipo de pré-condições (por exemplo, o requisito de troca A deve estar completo como pré-condição para que o requisito de troca B ocorra) ou de unidades de informação. No caso de unidade de informação, ela deve ser desmembrada em: <ol style="list-style-type: none"> Nome da unidade de informação; Descrição sobre a informação que é trocada; Identidade da parte funcional (IFC) em que os dados técnicos dessa unidade de informação são descritos; Atributos ou propriedades que devem ser trocadas para que esse requisito de troca seja satisfeito; Qualquer outra informação ou regra relacionada aos atributos ou propriedades.

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

2.5.4.3 Parte funcional

Uma parte funcional é uma unidade de informação usada por desenvolvedores de soluções para dar suporte a um ou mais requisitos de troca (Figura 15). Ela tem foco nas ações individuais que ocorrem durante o processo. Cada parte funcional apresenta uma especificação técnica detalhada da informação que deve ser compartilhada como resultado da ação (BUILDINGSMART, 2010).

Figura 15 - Partes funcionais de um requisito de troca



Fonte: Adaptado de BuildingSMART (2010)

Enquanto um requisito de troca delinea a informação em termos não-técnicos, uma parte funcional descreve o uso de cada entidade, atributo, *property set* e cada propriedade relevante (BUILDINGSMART, 2010). Ainda, é importante ressaltar que uma parte funcional pode ser formada por diversas outras partes funcionais. O conteúdo de uma parte funcional pode ser visualizado no Quadro 8.

Quadro 8 - Conteúdo de uma parte funcional

SEÇÕES	DESCRIÇÃO
Cabeçalho	Informações administrativas da parte funcional, incluindo a versão do formato IFC utilizado
Visão global	Delimita o foco e o conteúdo de uma parte funcional em termos não-técnicos. Não obstante a parte funcional ser primariamente voltada para desenvolvedores de solução, um usuário deve ter consciência de seu conteúdo, pois estará utilizando-o em conjunto com um requisito de troca
Resultados	Proporciona uma declaração simples do resultado da parte funcional
Técnica	Detalha com precisão a informação que será proporcionada pela parte funcional, incluindo as entidades IFC e os <i>property sets</i> , assim como os atributos e propriedades a serem usados. Essas informações são apresentadas em um quadro, onde deve constar também se elas são necessárias, opcionais ou obrigatórias
Listas	Apresenta uma lista de todos os componentes IFC utilizados na parte funcional
Código	Seção destinada aos desenvolvedores de solução, onde é apresentada uma descrição formal das capacidades IFC utilizadas
Exemplo	Exemplos de como a parte funcional pode ser empregada, procurando orientar os desenvolvedores de solução

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

2.5.4.4 Modelo de requisito de troca

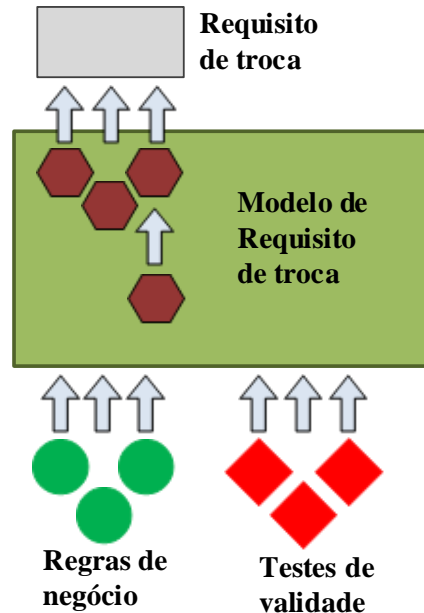
Um modelo de requisito de troca é a solução técnica de um requisito de troca, utilizado pelos desenvolvedores. Ele é formado a partir do conjunto de partes funcionais que dão suporte ao seu respectivo requisito de troca (Figura 16), ou até mesmo por outros modelos de troca de requisitos (BUILDINGSMART, 2010).

Por ser criado por partes funcionais do modelo IFC, o modelo de requisito de troca é dependente do formato de dados. Logo, um requisito de troca pode possuir diversos modelos de requisito de troca (BUILDINGSMART, 2010). Segundo a BuildingSMART (2010), um modelo de requisito de troca é significativo, pois:

- a) Ele será suportado por aplicações de *software*;
- b) Faz parte do MVD (*model view definition*) que é certificado;
- c) É o componente ao qual são aplicadas regras de negócio;

d) É o componente ao qual podem ser aplicados testes de validação.

Figura 16 - Definição de um modelo de requisito de troca



Fonte: Adaptado de BuildingSMART (2010)

De acordo com a BuildingSMART (2010), em essência, o modelo de requisito de troca satisfaz todas as condições que dão suporte ao fluxo de trabalho de um projeto, de acordo com as regras e métodos definidos em uma região, país ou estrutura de trabalho.

2.5.4.5 Regras de negócio

Regras de negócio descrevem operações, definições e restrições que podem ser aplicadas a um conjunto de dados usado em um determinado processo. Elas podem ser utilizadas para variar o resultado de um modelo de informação sem que seja necessário alterar o modelo em si. Em outras palavras, elas permitem que o modelo de requisitos de troca seja modificado e lapidado de acordo com uma necessidade específica (BUILDINGSMART, 2010). As regras de negócio podem ser aplicadas nos seguintes contextos: utilização de entidades específicas; atributos e propriedades que devem ou não ser preenchidos; valores, limites de valores ou intervalos de valores que devem ser observados; dependências existentes

entre entidades, atributos e valores. Duas seções constituem uma regra de negócio, como explicitado no Quadro 9.

Quadro 9 - Conteúdo de uma regra de negócio

SEÇÕES	DESCRIÇÃO
Cabeçalho	Informações administrativas da regra de negócio, incluindo a quais modelos de requisito de troca ela se aplica
Tabela de regras	Apresenta detalhes específicos da regra de negócio, como: <ol style="list-style-type: none"> a) Identificador, onde deve ficar claro o contexto ao qual a regra se aplica; b) Nome, que deve expressar o propósito da regra; c) Proposta, que deve conter notas informativas e de orientação para o desenvolvedor de solução; d) Valores permissíveis, com uma lista de quais valores são aplicáveis aos conceitos.

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

2.5.5 Componentes do IDM com ênfase na visão do usuário

Eastman *et al.* (2010) apresentam uma visão levemente distinta da apresentada pela BuildingSMART (2010). É importante ressaltar que estas óticas não são contrastantes, mas sim diferentes em alguns aspectos.

Enquanto a BuildingSMART (2010) trata de Requisitos de Troca e Partes Funcionais, Eastman *et al.* (2010) abordam os conceitos de Modelo de Troca e Objeto de Troca (*Exchange Model* e *Exchange Object*, respectivamente).

O objetivo do IDM na visão de Eastman *et al.* (2010) é o mesmo da BuildingSMART (2010), isto é, definir os aspectos referentes a cada troca de informações que ocorre durante um processo construtivo, buscando aprimorar a interoperabilidade de dados.

Eastman *et al.* (2010) dão ênfase à noção de casos de uso (*use cases*), que, por sua vez, definem cenários de troca de informações entre dois agentes bem definidos, sobre um tópico específico em determinada fase do projeto. Um caso de uso possui um determinado conjunto de informações que precisa ser compartilhado, e, normalmente, faz parte de um processo mais amplo, onde múltiplos casos de uso constituem uma rede de colaboração entre disciplinas. A essa rede maior é dado o nome de mapa de processo (EASTMAN *et al.*, 2010).

Os mapas de processo são os mesmos apresentados pela BuildingSMART (2010), baseados na linguagem BPMN, e detalhados previamente. Após o desenvolvimento do mapa de processos, identificam-se os Modelos de Troca, que podem ser entendidos como os Requisitos de Troca constantes da metodologia da BuildingSMART (2010). Os Modelos de Troca devem ser construídos em linguagem não técnica, permitindo que especialistas dos domínios relacionados possam definir as especificações de informações necessárias para cada troca. Um exemplo de Modelo de Troca pode ser visualizado no Quadro 10. O que pode se perceber é que muitos componentes do Modelo de Troca são idênticos aos dos Requisitos de Troca da metodologia BuildingSMART (2010).

O cabeçalho do Modelo de Troca identifica a fase do projeto e os agentes envolvidos, tanto através de texto como através da classificação Omniclass. Esses dados podem variar de acordo com o escopo do Mapa de Processos e devem ser ajustados com o avanço do desenvolvimento do mesmo. É interessante citar que Omniclass é um sistema de classificação de informação para a indústria da construção. Constitui-se de um conjunto de 15 tabelas hierárquicas inter-relacionadas, cada uma representando uma faceta diferente das informações de uma determinada construção (OCSS, 2014).

Os Modelos de Troca são compostos por Objetos de Troca, ao invés de Partes Funcionais, como exposto pela BuildingSMART (2010). Objetos de Troca são definições encapsuladas dos objetos de informação que precisam ser compartilhados, definidos em uma linguagem comum aos especialistas da indústria (EASTMAN *et al.*, 2010), ou seja, não estão atrelados a um padrão específico.

O corpo do Modelo de Troca (apresentado no Quadro 10) lista os objetos relevantes para o compartilhamento de informações. Estes objetos, situados na esquerda, são agrupados informalmente segundo algum critério particular. As colunas determinam as propriedades funcionais dos Objetos de Troca. Eles podem ser registrados como necessários ou opcionais. Na sequência, as especificações para a funcionalidade da geometria, o tipo da superfície, as relações e as informações de propriedade (autor, versão, *status*) são assinaladas para cada Objeto de Troca. Por fim, são identificadas as diferentes propriedades (através dos conjuntos de propriedades – *Property Sets*) que devem ser associadas com os diversos Objetos de Troca (EASTMAN *et al.*, 2010). Esse processo auxilia no posterior mapeamento do Modelo de Troca para algum padrão determinado.

Quadro 10 - Exemplo de Modelo de Troca

Tipo	Requisito de troca		
Identificador	EM. 1		
Histórico de mudanças			
27-Oct-07	Versão 0.5 criada baseada nos documentos do Pankow Project desenvolvidos por Yeon-Suk Jeong e Chuck Eastman no Georgia Tech e Rafael Sacks e Israel Kener no Technion.		chuck.eastman@coa.gatech.edu cvsacks@lechnix.technion.ac.il
Etapas do projeto Tabela 31 Omiclass	1	Projeto conceitual da fachada pré-fabricada	X
	2	Revisão do projeto e modelagem conceitual	
	3	Desenvolvimento do projeto preliminar	
	4	Desenvolvimento do projeto	
	5	Preparação da licitação da construção	
	6	Preparação da licitação dos pré-fabricados	
	7	Requisitos estruturais	
	8	Detalhamento dos pré-fabricados	
	9	Coordenação da construção	
	10	Validação dos intentos de projeto	
	11	Revisão do projeto estrutural	
	12	Execução dos pré-fabricados	
	13	Rastreamento do material	
Disciplinas Tabela 31 Omiclass	33-21-11-00	Arquitetura	
	33-41-14-11	Empreiteiro de pré-fabricados	
	33-41-11-11	Contratante	
	33-21-31-41	Engenheiro (consultor de pré-fabricados)	
	33-21-31-14	Engenheiro (estruturas)	
	33-41-14-17	Fabricante do aço	

Informação	Tipo do objeto de troca	Funcionalidades geométricas				Tipo da superfície				Precisão			Relações			Meta data		Propriedades e property-sets	
		Obrigatório/Opcional		Referenciável	Vol. e chec. de colisões	Editável	Facetada	Meshed	Superfícies de 3ª ordem	Splines	Alta (< 1mm)	Média (< 5mm)	Baixa (> 7mm)	Aninhado	Montado	Conexões	Autor, versão		Status / aprovações
		Visível																	
Edifício	Layout																	EO_Grid	
	Elementos estruturais																	EO_StructuralMember	
	Pilares																	+	
	Vigas																	+	
	Fundações																	+	
	Lajes																	+	
	Contraventamento																	+	

Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2010)

2.5.6 Processo de desenvolvimento do IDM

Segundo a BuildingSMART (2010), o processo de desenvolvimento do IDM tem dois objetivos fundamentais:

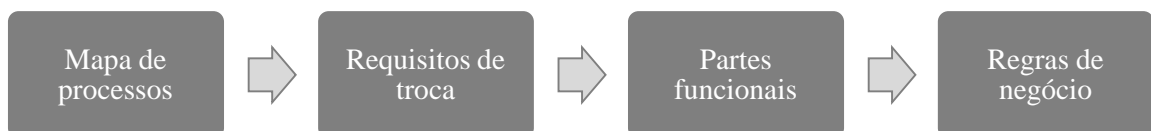
- a) Compreensão dos requisitos para troca e compartilhamento de informações;
- b) Desenvolvimento de um modelo de objeto e de implementações de *software* que podem ser utilizados por usuários para satisfazer os requisitos.

O processo de desenvolvimento do IDM engloba a criação de todos os seus componentes, isto é, o mapa de processos, os requisitos de troca, as partes funcionais, as regras de negócio e os conceitos (que são conectados diretamente ao modelo IFC e compõem as partes funcionais) (BUILDINGSMART, 2010). Tradicionalmente existem três metodologias para desenvolvimento do IDM, quais sejam: descobrimento de processos e mineração de dados; localização das regras de negócio; e engenharia reversa.

2.5.6.1 Descobrimto de processos e mineração de dados

A metodologia de descobrimento de processos e mineração de dados é a mais tradicional utilizada não só no desenvolvimento do IDM, mas também na criação e extensão do formato IFC. Ela assume que não existe uma presença inicial de *software* ou de outros requisitos de troca (BUILDINGSMART, 2010). A sequência lógica de todo o processo é a apresentada na Figura 17 e detalhada no Quadro 11.

Figura 17 - Sequência da metodologia de descobrimento de processo e mineração de dados



Fonte: BuildingSMART (2010)

Quadro 11 - Etapas do descobrimento de processo e mineração de dados

ETAPA	DESCRIÇÃO
Descobrimto do processo	Envolve trabalhar diretamente com os especialistas da indústria, determinando os processos de negócio dentro do escopo que deve ser satisfatoriamente atendido. Durante essa etapa são identificados os requisitos de troca
Mineração dos dados	Quando da localização dos requisitos de troca no mapa de processos, os requisitos de informação devem também ser identificados pelos especialistas da indústria
Criação dos requisitos de troca	A criação dos requisitos de troca envolve quatro possíveis etapas: <ul style="list-style-type: none"> a) Identificar os requisitos de troca; b) Criar a seção da visão global; c) Determinar se partes funcionais que satisfazem as necessidades do requisito já foram desenvolvidas. Se sim, sua seção da visão global deve ser importada e as provisões de dados obrigatórios explicadas; d) Se as partes funcionais não existirem, estas deverão ser criadas.
Criação das partes funcionais	A criação das partes funcionais deve ser feita de acordo com o que foi previamente apresentado. Ela normalmente é executada por um desenvolvedor de soluções ou um especialista em modelagem
Definição das regras de negócio	Deve ser definido o conjunto de regras de negócio que pode ser aplicado ao modelo de requisitos de troca

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

2.5.6.2 Localização das regras de negócio

Para a utilização dessa metodologia as seguintes condições são supostas (BUILDINGSMART, 2010):

- a) Já existe um requisito de troca desenvolvido que, entretanto, não atende as necessidades de um local em particular;
- b) O mapa de processos já foi concebido;
- c) Todas as partes funcionais que suportam os requisitos de troca já estão definidas.

Dessa forma, o único componente pendente para o IDM são as regras de negócio. Elas devem, então, ser definidas cooperativamente por especialistas da indústria que

conhecem os requisitos de informação do local, e técnicos que podem expressá-los de forma que um desenvolvedor de soluções possa utilizá-los (BUILDINGSMART, 2010).

2.5.6.3 Engenharia reversa

A metodologia de engenharia reversa supõe que já se tem um *software* capaz de lidar com a troca de informações, porém, existe a necessidade de capturar especificamente quais requisitos de troca ele suporta (BUILDINGSMART, 2010).

A maneira típica de se trabalhar com engenharia reversa é prever o requisito de troca que pretende ser suportado pelo *software* e utilizar a aplicação para que esse requisito seja suprido. Isto é, são fornecidas informações ao *software* da maneira mais econômica possível – para cada informação fornecida, deve-se avaliar se ela poderia ser facilmente adquirida através de uma troca de dados em um processo anterior (BUILDINGSMART, 2010).

A sequência lógica da engenharia reversa é a apresentada na Figura 18 e detalhada no Quadro 12.

Quadro 12 - Etapas da engenharia reversa

ETAPA	DESCRIÇÃO
Definição do cenário	Definição do cenário que o requisito de troca deve suportar
Recuperação de dados	Dentro do <i>software</i> , atuando no cenário definido, avaliar todos os dados que precisam ser informados e verificar se os mesmos não poderiam ser provenientes de um processo anterior
Criação dos requisitos de troca	Os requisitos de troca devem ser criados a partir do cenário definido e dos dados observados na etapa anterior. Nessa etapa verifica-se a existência de partes funcionais que deem suporte aos requisitos de troca
Criação das partes funcionais	Caso necessário, criam-se as partes funcionais que ainda não foram desenvolvidas
Definição das regras de negócio	Deve ser definido o conjunto de regras de negócio que pode ser aplicado ao modelo de requisitos de troca
Capturar o processo	Após a engenharia reversa de um ou mais requisitos de troca do <i>software</i> , pode ser criado um mapa de processos que condiz com a realidade, ou um mapa que idealize todo o cenário

Fonte: Baseado em BuildingSMART (2010)

Figura 18 - Sequência da metodologia de engenharia reversa



Fonte: BuildingSMART (2010)

2.5.7 Estado da arte

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas nos últimos anos tratando ou envolvendo o *Information Delivery Manual*. Nesta seção, apresentam-se os trabalhos recentes relacionados a tal assunto. O objetivo da presente seção é avaliar o estado da arte do tema. Desta forma, uma visão abrangente do objeto de estudo é alcançada, permitindo o deslumbramento de possíveis soluções para o problema de pesquisa.

Os resultados do experimento Rosewood, desenvolvido por Sacks *et al.* (2010), deram suporte à criação de um IDM direcionado a estruturas de concreto pré-moldado. O experimento Rosewood foi, primariamente, uma pesquisa-ação, onde o segundo autor do trabalho passou dois meses no setor de projetos de uma empresa especializada em fachadas pré-moldadas. Nesses dois meses, o pesquisador modelou, através de ferramentas BIM, um edifício, ao mesmo tempo em que ele era projetado e detalhado através de aplicativos CAD tradicionais. O edifício possuía 16 pavimentos, 40.000 m² de área total e aproximadamente 3.500 m² de área de fachada. Segundo Sacks *et al.* (2010), o ponto forte do experimento foi a simultaneidade do projeto em 2D e BIM 3D, o que proporcionou uma ótima oportunidade de comparação entre os processos de projeto e os fluxos de informação. Entre os objetivos do experimento, citam-se: identificar os fluxos de trabalho colaborativos atualmente vigentes nos sistemas CAD 2D; formular novos fluxos de trabalho colaborativos que melhor aproveitem as funcionalidades dos aplicativos BIM; identificar as capacidades de intercâmbio de dados nos sistemas BIM utilizados no experimento; identificar objetos que não são suportados pelo formato IFC.

O experimento demonstrou a viabilidade do uso de aplicativos BIM no projeto de fachadas pré-moldadas, apresentando, inclusive, ganhos em produtividade de 57%. Por meio da experiência ganha no experimento, foi possível propor um novo fluxo de trabalho para

arquitetos, engenheiros e fabricantes de estruturas pré-moldadas, apropriado às trocas de informações que ocorrem na utilização de ferramentas BIM. Esse novo fluxo de trabalho gerou um IDM que posteriormente pode ser validado e, eventualmente, incorporado aos padrões da NBIMS (*National BIM Standard*).

É importante ressaltar que Sacks *et al.* (2010) afirmam que as dificuldades enfrentadas na troca de informações entre sistemas BIM para arquitetura e engenharia confirmam a necessidade de se detalhar: quais informações são necessárias para cada cenário de troca; quais entidades IFC e quais *property sets* são usados em tais cenários; e como as edificações devem ser modeladas para um intercâmbio de dados eficiente. O IDM é a resposta para parte desses problemas.

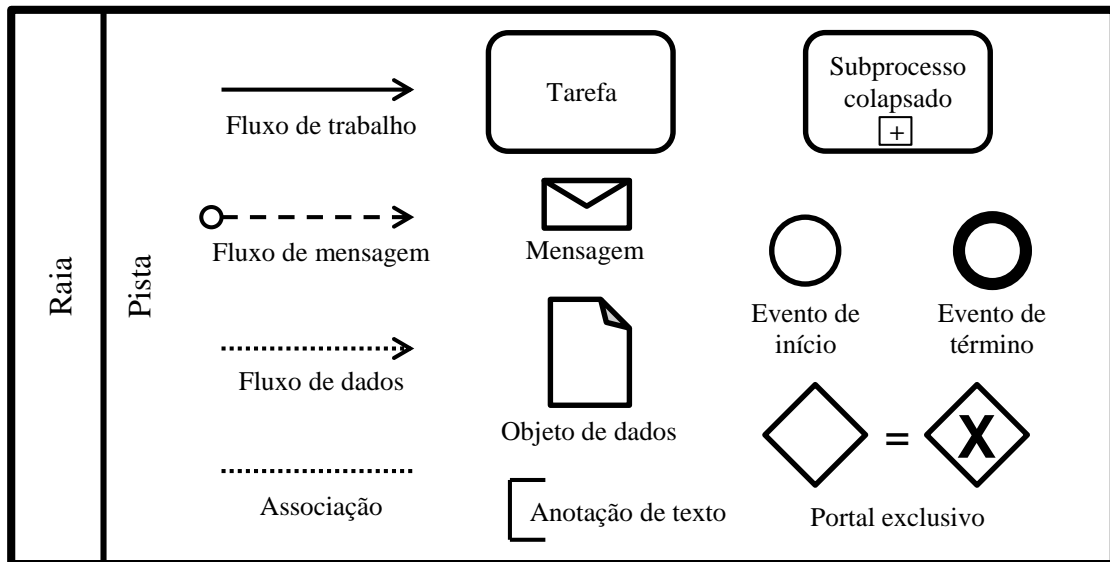
Park, Cho e Lee (2011) propuseram um subconjunto de símbolos da notação BPMN direcionado especificamente à criação de IDMs. Na versão 2.0 da BPMN existem cerca de 160 símbolos que podem ser utilizados na concepção de mapas de processo. Os autores perceberam que isso pode gerar desordem, pois muitos dos símbolos podem parecer supérfluos, isto é, pouco úteis ao contexto do IDM. Com isso, foram estudados 54 processos em 14 mapas desenvolvidos por várias organizações, como a BuildingSMART e a GSA (*General Services Administration*, dos Estados Unidos), visando identificar quais os símbolos frequentemente utilizados na especificação dos processos de negócio da indústria da construção.

A pesquisa de Park, Cho e Lee (2011) foi desenvolvida em 2011, desta maneira foram estudados mapas criados nas versões 1.0 e 1.2 da BPMN. Tais versões, possuíam aproximadamente 100 diferentes símbolos, visto que a BPMN tem o objetivo de modelar processos em diferentes áreas do conhecimento, e não somente na indústria da AEC. Contaram-se as frequências de uso de cada símbolo nos mapas, e percebeu-se que apenas 36 elementos eram utilizados, em contraste aos 100 disponíveis. Além disso, mais da metade dos 36 símbolos era raramente utilizada. Logo, cerca de 70 símbolos da BPMN poderiam ser considerados desnecessários para o desenvolvimento de IDMs.

Park, Cho e Lee (2011) observaram que os elementos mais utilizados foram fluxo de trabalho, raia, pista, tarefa, portal (*gateway*), fluxo de mensagem, eventos de início e de término dos mapas e subprocessos. Assim, baseando-se nesses elementos e em alguns da versão 2.0 que foram julgados importantes, os autores sugeriram um subconjunto de símbolos destinado à criação de mapas de processo para a indústria da construção. O subconjunto é, por sua vez, dividido em dois: elementos essenciais, isto é, aqueles comumente utilizados; e

elementos suplementares, ou seja, que podem auxiliar em algumas situações. Na Figura 19 são apresentados os símbolos essenciais.

Figura 19 - Elementos essenciais da BPMN para o desenvolvimento de IDMs



Fonte: Adaptado de Park, Cho e Lee (2011)

Mondrup, Karlshoj e Vestergaard (2012) analisaram a utilização de IDMs para facilitar a análise energética de edificações. Estudou-se a abordagem atual da análise energética, fez-se um levantamento entre profissionais do assunto e mapearam-se as ferramentas de simulação energética disponíveis no mercado em questão. Foi ressaltada a necessidade da otimização da análise energética através de ferramentas computacionais, com destaque a BIM. Porém, para se lograr de todas as vantagens proporcionadas pela modelagem de informações na construção, é preciso uma comunicação eficiente e um perfeito entendimento dos fluxos de trabalho que ocorrem nos processos construtivos. O levantamento entre os profissionais da área demonstrou que uma preocupação dos mesmos é justamente a comunicação que deve ocorrer entre os *software*. Mondrup, Karlshoj e Vestergaard (2012) apontam o IDM como uma solução para essa questão.

Berard e Karlshoj (2012) estudaram a utilização de IDMs para integrar a informação de componentes BIM no projeto. Para tanto, através da metodologia IDM aplicada em um estudo de caso, mapearam-se o processo, os requisitos de troca e as regras de negócio relacionadas à inserção no projeto de componentes BIM produzidos por fornecedores. O que foi observado por Berard e Karlshoj (2012) é que o IDM, através da linguagem BPMN, é capaz de capturar plenamente a sequência e a interdependência de tarefas. Através das raias

para os agentes, as organizações envolvidas podem ser descritas com precisão. É possível a definição detalhada da informação necessária para uma atividade se desenvolver e também, por meio das regras de negócio, pode-se transformar essa informação do modo que for conveniente. Berard e Karlshoj (2012) afirmam que o IDM reforça a análise e descrição de um processo e seu contexto por múltiplas perspectivas, algo necessário na hipótese do desenvolvimento de um sistema de informação. Apesar da grande variabilidade dos processos da construção, isto é, as desigualdades existentes entre processos de diferentes projetos e de diferentes organizações, o IDM pode contribuir para a padronização da maneira como se comunicam atividades e requisitos de informação na indústria. Berard e Karlshoj (2012) assinalam como um ponto fraco do IDM a incapacidade de informar uma data efetiva de quando uma tarefa ou uma troca de informações precisa acontecer.

Nawari (2012a) pesquisou a determinação de um padrão BIM (*BIM Standard*) para o domínio da engenharia de estruturas. O padrão é o proposto pela NBIMS (*National BIM Standard*) nos Estados Unidos, e é baseado nos conceitos principais da BuildingSMART (IFC, IDM e IFD). O autor afirma que o sucesso definitivo da tecnologia BIM vai depender, em parte, da capacidade de se capturar as informações relevantes de um modelo e transmiti-las eficientemente para os vários atores da indústria da construção.

A partir disso, o autor destaca a importância de um padrão BIM. Considerando-se o domínio da engenharia de estruturas, existe quase um número ilimitado de atributos que podem ser associados a um modelo, e que devem, posteriormente, ser compartilhados entre diversas disciplinas.

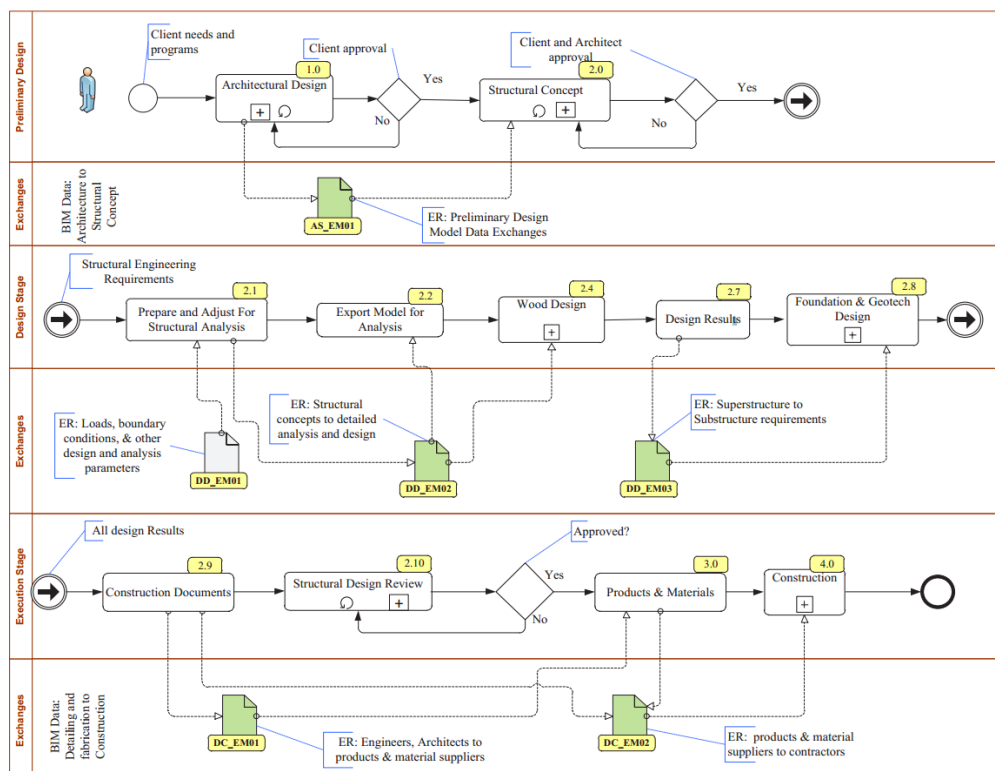
Assim, Nawari (2012a) ressalta que muitos engenheiros de estruturas têm dificuldade devido à interoperabilidade inadequada entre os *software* utilizados para análise estrutural e os utilizados para o detalhamento. Dessa forma, percebe-se que a criação de um IDM voltado aos diversos processos inerentes à engenharia de estruturas pode trazer diversas vantagens ao mercado, como o aumento de produtividade, a melhoria da interoperabilidade, a redução consciente do escopo dos aplicativos comerciais voltados à área, entre outras.

Nawari (2012a) encerra apontando que o processo básico para a criação de um padrão BIM para a engenharia de estruturas deve começar pela especificação dos requisitos de troca, por parte dos usuários finais, em um IDM. Na sequência, esses requisitos devem ser mapeados através de um MVD e, finalmente, correlacionados ao padrão IFC. O autor afirma ainda que deveria existir um mapeamento direto entre o IDM, o MVD e o IFC, onde o IDM apresenta uma lista de informações que precisam aparecer no IFC, e o MVD proporciona diretrizes de como a informação deve se apresentar.

Nawari (2012b), a partir do projeto de pesquisa BLIS (*Building Lifecycle Interoperable Software*), que será referenciado na sequência, estudou a padronização BIM especificamente na área das estruturas de madeira. O autor afirma que as ferramentas BIM evoluíram consideravelmente no tocante a modelagem de estruturas de concreto e metálicas. Todavia, os aplicativos não apresentam funcionalidades satisfatórias para o projeto de estruturas de madeira, não obstante os possíveis benefícios que a indústria poderia lograr. Entre eles, é citada a redução do material requerido em obra, a facilidade para a produção de detalhes construtivos, a redução de incompatibilidades, além dos benefícios relacionados à possibilidade de se criar e testar diversas alternativas de projeto, incluindo alternativas arrojadas, que na metodologia de projeto convencional não são facilmente estudadas.

Visando uma melhora das ferramentas BIM e uma maior adoção da tecnologia na indústria estudada, o autor ressalva ser necessário o conhecimento de quais informações são indispensáveis em cada etapa do empreendimento. Para tanto, foi desenvolvido um IDM para construções em madeira, cujo mapa de processo que relaciona a arquitetura e a engenharia de estruturas é apresentado na Figura 20. Nawari (2012b) afirma que o desenvolvimento do IDM é uma primeira etapa para a padronização de BIM em estruturas de madeira, e ainda ressalta que o esforço deve ter continuidade.

Figura 20 - Mapa de processos para estruturas de madeira



O projeto BLIS, da Universidade da Flórida (BLIS, 2012), visa aumentar a interoperabilidade entre sistemas BIM, buscando a adoção generalizada de um modelo de dados padrão para a indústria da construção. Ele procura dar suporte, validar e propor extensões ao padrão IFC. Os estudos do BLIS se baseiam no conceito de casos de uso, abordado anteriormente. No site do projeto (<http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>), diversos IDMs aplicáveis a várias áreas do conhecimento são apresentados, citando-se: arquitetura e levantamento de quantitativos para orçamentação; arquitetura e análise de energia; arquitetura e análise de circulação e segurança; projeto e análise de conformação às normas; arquitetura e simulação térmica; arquitetura e engenharia de estruturas; projeto de estruturas e análise estrutural; projeto de estruturas e detalhamento estrutural; intercâmbio de informações de concreto pré-moldado; projeto de alvenaria estrutural e análise estrutural; projeto estrutural em madeira e análise estrutural; entre outros. O projeto BLIS ressalta mais uma vez a importância do estudo da interoperabilidade na indústria da AEC, com destaque para o IDM, que, como foi apontado por Nawari (2012b), é um primeiro passo para a padronização BIM.

Em outra pesquisa, Sanguinetti *et al.* (2012) propuseram a arquitetura de um sistema que “lapidasse”, isto é, adapta-se automaticamente modelos BIM para os aplicativos específicos que realizam as várias análises relacionadas a um edifício. O projeto de um edifício normalmente se inicia pela modelagem da arquitetura. Na sequência, muitas simulações e análises são feitas, como análise estrutural, energética, de iluminação, extração de quantitativos, orçamento, entre outras. Tais simulações fazem uso do modelo desenvolvido pela arquitetura. Porém, cada uma delas “adapta” o modelo arquitetônico conforme suas necessidades, ou seja, extrai algumas informações, ignora outras, e cria outras mais. Essa adaptação é feita, ainda hoje, manualmente, e muitas vezes faz-se necessária a reinserção de dados, o que pode acarretar erros humanos.

Sanguinetti *et al.* (2012) tinham como objetivo, entre outros, determinar os requisitos dos dados que deveriam ser inseridos nos sistemas para que fosse possível a análise integrada do edifício, buscando resolver as situações onde, por exemplo, um *software* de análise necessita de um tipo de informação geométrica, e outro *software* precisa de outra visão sobre as mesmas informações geométricas. Portanto, para se definir as vistas do modelo, as chamadas MVDs, que servem para cada tipo de análise, Sanguinetti *et al.* (2012) perceberam que seria preciso determinar o conteúdo necessário para as trocas de informação em termos não-técnicos, isto é, seria preciso desenvolver um IDM para cada tipo de aplicativo de análise.

Neste contexto, o IDM deveria capturar o nível de especificidade, os requisitos para documentação e quaisquer exigências contratuais. Com o sistema proposto, foi realizado um

estudo de caso de um edifício destinado a um tribunal, onde foram desenvolvidas as análises de: programa de requisitos do projeto; análise de acesso e circulação; análise de custos; e consumo de energia. A arquitetura do sistema proposto demonstrou-se satisfatória, e o estudo de Sanguinetti *et al.* (2012) demonstra um outro aspecto em que o IDM demonstrou-se de valia: determinar os requisitos de informação para aplicativos, visando um fluxo eficiente de dados entre os diversos intervenientes de cada processo.

Patacas (2012) propôs uma metodologia baseada em BIM para colaboração entre os agentes da indústria da construção, tendo como base a interoperabilidade nos níveis de processos, serviços e dados. A metodologia proposta utiliza-se dos conceitos do IDM (para os níveis de serviços e dados) e também do CBP (*Cross-Organizational Business Processes*, para o nível de processos). O CBP em si é uma metodologia que procura facilitar a colaboração entre diferentes entidades, levando em consideração as necessidades dos intervenientes dos processos, bem como a proteção de dados sensíveis das organizações envolvidas. A metodologia proposta por Patacas (2012) segue nove passos:

- a) Definição de processos privados: identificação da sequência de tarefas que ocorrem dentro de cada organização;
- b) Definição de vistas públicas: cada organização define quais processos serão públicos, isto é, que servirão de base para a colaboração, ocultando os que devem ser mantidos sigilosos;
- c) Definição do processo colaborativo: interligando-se os processos públicos de cada organização pode-se criar um processo colaborativo, definindo também onde e quando ocorrem as trocas de dados e os fluxos de mensagens entre os agentes;
- d) Definição dos requisitos de troca: os requisitos necessários a cada troca de dados são identificados, da mesma forma que ocorre em um IDM;
- e) Definição de serviços eletrônicos com base nos requisitos de troca: especificação de quem executa determinada tarefa, quem recebe os resultados desta e qual deve ser o conteúdo dos dados ou da mensagem trocada;
- f) Associação dos serviços definidos aos processos colaborativos vistos anteriormente;
- g) Definição das várias partes funcionais que constituem cada um dos requisitos de troca: da mesma forma que ocorre em um IDM;
- h) Definição do esquema XSD (*Extensible Markup Language Schema Definition*) que suporta os requisitos de troca através do agrupamento das várias partes

funcionais que o constituem: neste ponto os dados são propriamente tratados (o esquema XSD é utilizado como uma opção ao EXPRESS, abordado no capítulo sobre IFC);

- i) Conversão dos esquemas XSD em WSDL (*Web Services Description Language*) para possibilitar a sua associação aos serviços e efetuar as trocas de dados.

A metodologia proposta por Patacas (2012) foi aplicada na etapa de levantamento de quantitativos e de custos para a elaboração de propostas de um empreendimento. Patacas (2012) afirma que o método pode ser aplicado em vários contextos do ciclo de vida de um projeto. Ele ressalta ainda que diversas formas contratuais, com diferentes níveis de colaboração, podem ser atendidas através do procedimento apresentado. Em tempo, concluiu-se que é possível aplicar o método para definir processos colaborativos entre diversas entidades, considerando restrições na colaboração, de modo a proteger a propriedade intelectual dos intervenientes.

O IDM mostrou-se uma importante ferramenta para o trabalho de Aram, Eastman e Sacks (2013). Os autores estudaram os requisitos para plataformas de modelagem de informações na cadeia de suprimentos de armaduras para concreto. Em outras palavras, foram avaliadas as funcionalidades necessárias para aplicativos BIM desempenharem eficientemente várias tarefas em todo o ciclo de vida de armaduras de concreto armado e protendido, indo desde o projeto até a fabricação e construção. Afirma-se que a área de concreto armado e protendido é composta por muitos atores que contribuem para o produto final. Com isso, a adoção da BIM nesse ramo depende grandemente da interoperabilidade entre os sistemas.

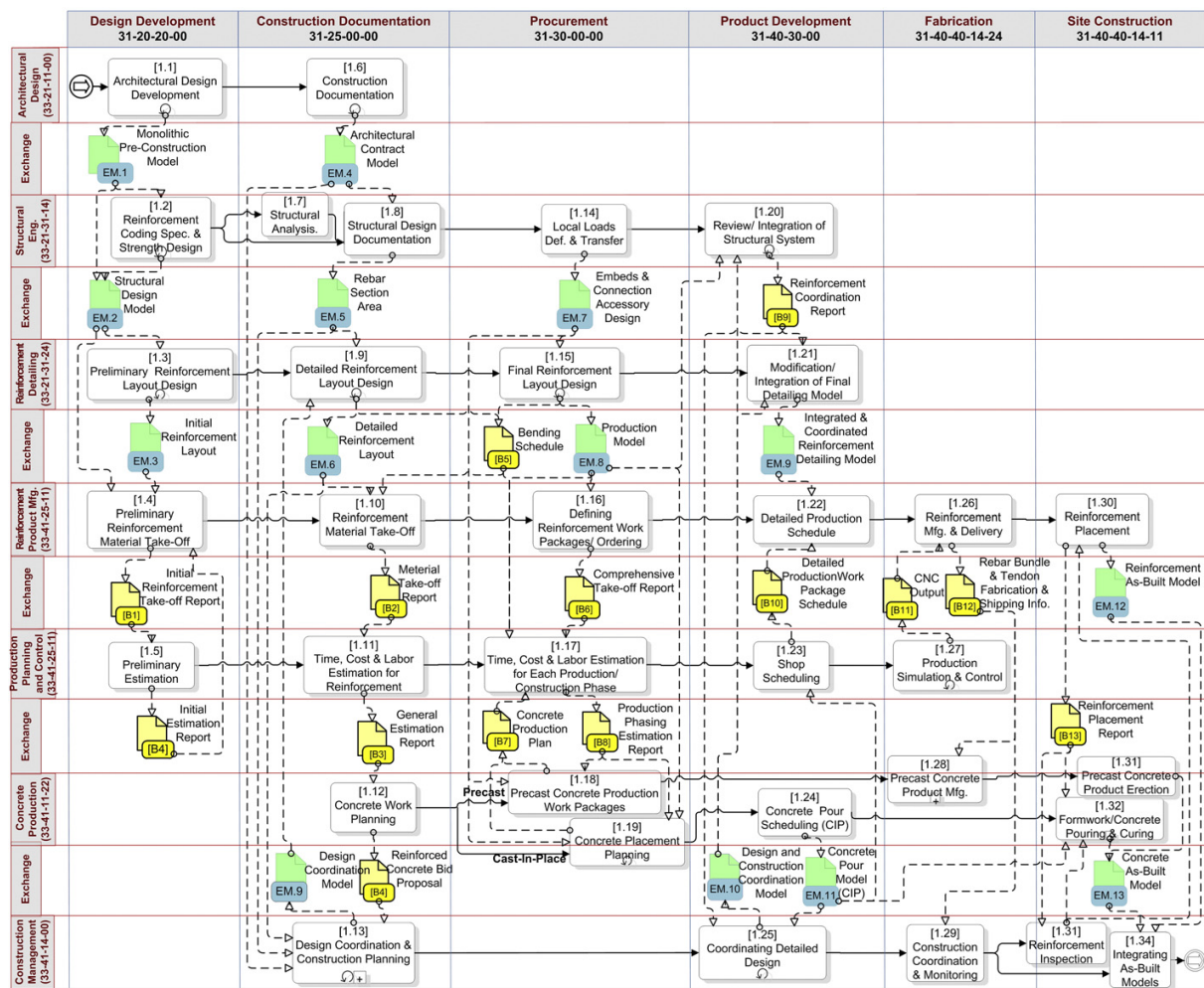
Aram, Eastman e Sacks (2013) citam um levantamento feito pela McGraw Hill Construction (2008), onde 80% de usuários BIM de diversas áreas do conhecimento apontam a melhoria das funcionalidades e da interoperabilidade dos *software* de modelagem como o principal tópico de desenvolvimento e consolidação da tecnologia.

A etapa inicial da pesquisa de Aram, Eastman e Sacks (2013) foi a modelagem e definição dos fluxos de informação na cadeia de suprimentos das armaduras de concreto, seguida da identificação da informação necessária para os modelos resultantes de diversas atividades nos vários estágios de um empreendimento. Segundo os autores, a modelagem dos processos pode trazer muitos benefícios à indústria, como a melhora da comunicação entre as disciplinas do projeto, eliminando atividades que não adicionam valor ao produto, a redução do tempo de espera entre tarefas e também a identificação de oportunidades de diminuição de desperdícios. O mapa de processos, que foi incorporado a um IDM, foi desenvolvido a partir da colaboração de aproximadamente vinte profissionais experientes envolvidos em diversas

fases da cadeia de suprimentos. Os requisitos de informação levantados, juntamente com o mapa de processos, possibilitaram uma comparação entre o modelo estabelecido no mercado e as capacidades das ferramentas BIM existentes. A partir disso, foi possível identificar e analisar os pontos fortes e os pontos fracos, que necessitam melhoria nos aplicativos.

Na Figura 21 é apresentado o mapa de processos desenvolvido por Aram, Eastman e Sacks (2013). A título de informação, as principais sugestões feitas pelos autores são: melhoria nas bibliotecas de armaduras existentes; inclusão ou melhoria da modelagem de elementos de concreto protendido; melhoria das ferramentas de seleção de conjuntos de elementos de reforço, juntamente com a inclusão de funcionalidades para modelar a hierarquia da montagem das armaduras; novamente, a interoperabilidade; e, provavelmente uma das melhorias mais importantes, a produção automática de desenhos de detalhamento de armaduras, prontos para a produção, reduzindo ao máximo o trabalho e a intervenção manual.

Figura 21 - Mapa de processos da cadeia de suprimentos de armaduras para concreto



Fonte: Aram, Eastman e Sacks (2013).

3 MÉTODO

Como afirmam Lakatos e Marconi (1991), não há ciência sem o emprego de métodos científicos. Ainda segundo os autores, método “é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros –, traçando o caminho a ser seguindo, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”.

A presente pesquisa foi desenvolvida através da estratégia de estudo de caso. Procura-se, nesse capítulo, discutir as questões relevantes à escolha de tal estratégia.

3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

Uma pesquisa flexível evolui durante a coleta de dados. Os dados são tipicamente não numéricos (usualmente em forma de palavras), porém pode existir a coleta de dados numéricos (ROBSON, 2002).

O estudo de caso é um dos diversos tipos de estratégia flexível. Para Robson (2002), ele envolve o desenvolvimento de conhecimento intensivo e detalhado sobre um único caso, ou sobre um pequeno número de casos relacionados.

A tendência em grande parte dos tipos de estudo de caso é tentar esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados (SCHRAMM, 1971 *apud* YIN, 2001).

Yin (2001) classifica o estudo de caso como uma investigação empírica que indaga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Ainda, Yin (2001) ressalta que

... a investigação de estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única em que haverá mais variáveis de interesse do que pontos de dados, e, como resultado, baseia-se em várias fontes de evidências, com os dados precisando convergir em um formato de triângulo

Em tempo, Yin (2001) afirma que a escolha de um método de pesquisa pode se basear em três fatores principais: tipo de problema proposto, controle sobre eventos comportamentais e grau de enfoque em acontecimentos contemporâneos.

O estudo de caso é indicado para perguntas de pesquisa do tipo “como” e “por que”, onde se visa estudar acontecimentos contemporâneos. Assim, analisando-se a questão de pesquisa aqui proposta (como é o processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, e quais são os requisitos de informação dos intervenientes, segundo a metodologia IDM?), percebe-se que o estudo de caso é o método mais apropriado para se atingir o objetivo. Portanto, foi desenvolvido um estudo de caso em uma empresa que atua na área de projetos de estruturas em concreto armado para obras de saneamento e faz uso de aplicativos BIM para tal. O estudo de caso buscou elucidar o processo de projeto destas estruturas e levantar quais os requisitos de informação suprem as necessidades que os envolvidos possuem para desempenhar suas atividades.

Paralelamente ao estudo de caso, utilizou-se a pesquisa bibliográfica como um método de fundamentação. A revisão bibliográfica proporciona ao trabalho fatos e fenômenos já pesquisados e estudados por outros autores (ROBSON, 2002), ressaltando-se a situação atual do assunto (SILVA; MENEZES, 2001). Desta forma, a pesquisa bibliográfica, que em parte se reflete no capítulo dois, possibilitou inicialmente o levantamento do conhecimento existente sobre os tópicos relacionados a BIM, IFC e IDM, e deu ulterior suporte à formulação da pergunta e dos objetivos de pesquisa, entre outros.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa teve início com a etapa de revisão bibliográfica exploratória, como comentado anteriormente. A partir dela foi possível estipular-se o problema e os objetivos da pesquisa, bem como determinar a sua estratégia. Na sequência, desenvolveu-se a chamada revisão bibliográfica principal, que levantou os principais tópicos relacionados a IDM, dando ênfase ao estado da arte das pesquisas. Desta forma, foi possível elaborar o protocolo de coleta de dados, que será abordado no decorrer deste capítulo.

Prosseguindo, foi feito o contato inicial com o responsável pela empresa onde desenvolveu-se o estudo de caso. Esse contato foi realizado facilmente, parte devido à abertura da empresa com relação a estudos desse caráter, e parte devido ao fato de o

pesquisador ser colaborador da própria organização. A mesma será detalhada apropriadamente no capítulo quatro.

Após o contato inicial, o estudo de caso foi de fato empreendido. Os dados foram coletados através de análise de documentos, entrevistas e observação participante. Os documentos analisados foram desenhos, memórias de cálculo, relatórios, entre outros. As entrevistas foram realizadas com os profissionais envolvidos nas atividades que fazem parte do projeto de estruturas (engenheiros e projetistas). Como o pesquisador esteve diretamente inserido no ambiente do estudo de caso, fez-se uso da observação participante de maneira extensa e abrangente. O pesquisador, de fato, utilizou os sistemas BIM que a empresa possui.

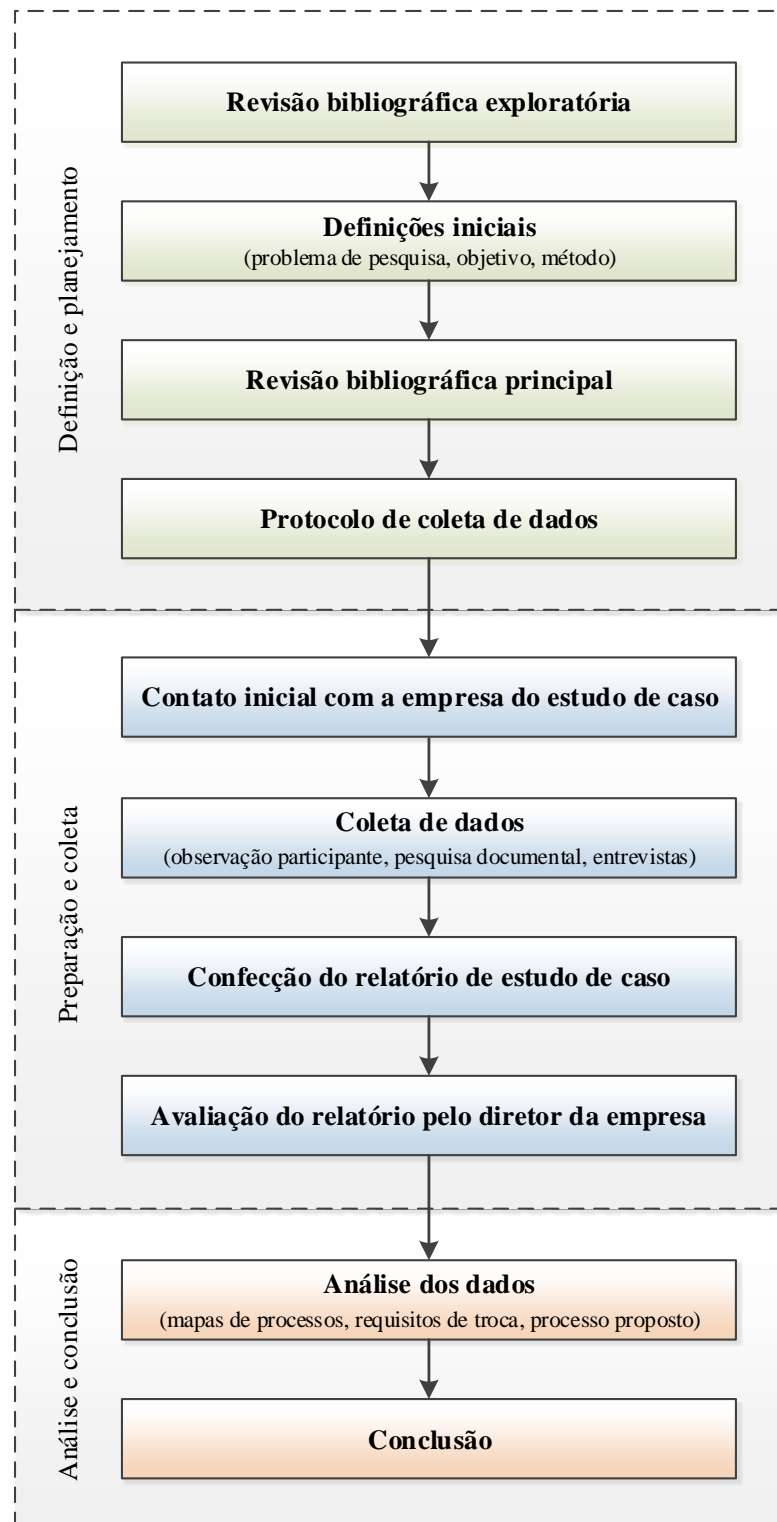
Finda a coleta de dados, estes foram dispostos em um relatório que foi avaliado pelo diretor da empresa do estudo de caso. O relatório foi devidamente corrigido a partir dos comentários e sugestões de mudanças feitas. Esta etapa procurou aumentar a confiabilidade dos dados coletados.

Na sequência, os dados do estudo de caso foram analisados. Esta análise buscou responder os objetivos da pesquisa. Ela ainda deu subsídios para a confecção dos mapas de processos de projetos de estruturas de concreto. Tais mapas foram desenvolvidos na linguagem BPMN (*Business Process Modeling Notation*), indicada pela BuildingSMART (2010). Além disso, incorporados aos mapas foram dispostos os requisitos de informação para a realização de cada atividade. Tais requisitos são apresentados em um formato similar ao proposto por Eastman *et al.* (2010), visto na Quadro 10.

A partir dos mapas de processos provenientes do estudo de caso, foi proposto um novo processo que visa a otimização dos projetos desta sorte.

Em seguida, a conclusão do trabalho foi elaborada e fizeram-se sugestões para trabalhos futuros. Em suma, as etapas da presente pesquisa são apresentadas na Figura 22. Para facilitar a compreensão, as etapas foram divididas em três fases: definição e planejamento; preparação e coleta; e análise e conclusão.

Figura 22 - Etapas da pesquisa



Fonte: O autor.

3.3 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Para Yin (2001), o protocolo de coleta de dados é uma das estratégias fundamentais para se atingir a confiabilidade em pesquisas de estudo de caso. Ele procura guiar a condução do estudo, dando ao pesquisador orientações que dizem respeito aos seguintes aspectos: os procedimentos de campo, as questões do estudo de caso e o relatório do estudo de caso. De fato, um dos motivos da importância do protocolo é pressionar o pesquisador a antecipar vários problemas que podem acontecer futuramente. Yin (2001) ainda afirma que “um protocolo para o estudo de caso é mais do que um instrumento. O protocolo contém o instrumento, mas também contém os procedimentos e as regras gerais que deveriam ser seguidas ao utilizar o instrumento”.

Com relação aos procedimentos de campo, o protocolo, segundo Yin (2001), deve enfatizar tarefas como:

- a) Obtenção de acesso às organizações e aos entrevistados;
- b) Posse de materiais suficientes enquanto em campo para documentar o estudo;
- c) Desenvolvimento de um procedimento para orientação de outros pesquisadores;
- d) Estabelecimento de uma agenda clara das atividades de coleta de dados;
- e) Preparação para acontecimentos inesperados, como mudança de disponibilidade ou de humor de entrevistados.

No estudo de caso proposto aqui, o acesso à empresa e aos entrevistados foi simples, pois o pesquisador esteve inserido na organização. Os materiais necessários para a documentação do estudo (computador, papel, caneta) são facilmente encontrados no local. Sendo o pesquisador participante, a coleta de dados foi constante, durante cerca de seis meses (julho de 2013 a janeiro de 2014), sem a necessidade de agendamento prévio. Entrevistas com os profissionais foram feitas também de forma intermitente durante o desenvolvimento do estudo. Nenhum imprevisto ocorreu durante a pesquisa.

Yin (2001) afirma ainda que são necessárias as questões do estudo de caso, que constituem-se de perguntas destinadas ao pesquisador, e não a algum entrevistado. Elas servem como lembretes, recordando as informações que precisam ser coletadas e o motivo de coletá-las – isto é, as questões procuram “manter o pesquisador na pista certa à medida que a coleta avança” (YIN, 2001). É útil ainda que cada pergunta do estudo de caso esteja acompanhada das prováveis fontes de evidências.

As questões do estudo de caso desta dissertação, bem como as suas respectivas possíveis fontes de evidências, podem ser visualizadas no Quadro 13.

Quadro 13 - Questões do estudo de caso

QUESTÃO	POSSÍVEIS FONTES DE EVIDÊNCIAS
Como é o processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM?	Observação do fluxo de projeto existente na empresa, suas etapas e o sequenciamento, reuniões, entrevistas com engenheiros e projetistas, utilização dos <i>software</i> , entre outros.
Quais são os requisitos de informação no processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM?	Observação dos projetos desenvolvidos na empresa, desenhos, memórias de cálculo, relatórios de sondagem, projetos complementares, criação e análise de modelos BIM, entrevistas com engenheiros e projetistas, entre outros.
Que melhorias podem ser feitas no processo de projeto de estruturas em concreto armado?	Observação e análise do fluxo de projeto existente na empresa, análise de sugestões de melhorias dadas por engenheiros e arquitetos, entre outros.

Fonte: O autor.

No que tange o relatório do estudo de caso, Yin (2001) relata que cada pesquisador, durante a realização do estudo de caso, deve planejar o relatório final. Tal ação facilitaria a coleta de dados relevantes, na forma apropriada, e reduziria a possibilidade de ocorrer outra visita ao local de estudo.

O relatório final do presente estudo contém uma descrição dos processos envolvidos no projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento. Composto o relatório, foram elaborados mapas de processos em linguagem BPMN, similares ao apresentado na Figura 21. Ainda, os requisitos de informação para o desenvolvimento de cada tarefa dos mapas estão incluídos no relatório. Estes são apresentados em um formato semelhante ao proposto por Eastman *et al.* (2010), exemplificado Quadro 10.

3.4 FONTES DE EVIDÊNCIAS

Yin (2001) assevera que um estudo de caso deve usar o maior número possível de fontes de evidências. Neste capítulo, são explicitadas as fontes de evidências utilizadas para a coleta de dados do presente estudo. As evidências serão obtidas através de observação participante, entrevistas e análise documental.

3.4.1 Observação participante

De acordo com Yin (2001), a observação participante é “uma modalidade especial de observação”, na qual o pesquisador não tem apenas papel passivo. Ele “pode assumir uma variedade de funções dentro de um estudo de caso e pode, de fato, participar dos eventos que estão sendo estudados”. Ainda segundo o autor, uma grande vantagem desse tipo de observação é a permissão que o pesquisador detém para participar de eventos e grupos que, de outro modo, não estariam acessíveis à investigação científica.

Os dados coletados por observação participante são primordialmente produto da interpretação do pesquisador do que está acontecendo ao seu redor (ROBSON, 2002). É prática iniciar a observação participante pelo que Robson (2002) denomina observação descritiva. Esta busca explicitar o local, os envolvidos e os eventos que aconteceram. Os dados descritivos são coletados através de dimensões, demonstradas no Quadro 14.

Quadro 14 - Dimensões da observação participante

DIMENSÕES DA OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE	
Espacial	Locais do estudo e disposição dos mesmos
Envolvidos	Nomes e detalhes relevantes dos envolvidos
Atividades	As atividades desempenhadas pelos envolvidos
Atos	Ações individuais específicas
Eventos	Ocasões, reuniões, entre outros
Tempo	A sequência dos eventos
Objetivos	O que os envolvidos estão tentando atingir

Fonte: Adaptado de Robson (2002)

Como já ressaltado, o pesquisador esteve inserido na empresa alvo do estudo de caso. Destarte, a observação participante demonstrou-se uma escolha acurada para a coleta de dados. O pesquisador esteve envolvido diretamente nos eventos do estudo de caso, fazendo parte do processo de projeto, desempenhando as atividades de cálculo, dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto.

3.4.2 Entrevistas

Segundo Gil (2002), entrevista é a técnica que envolve duas pessoas em uma situação “face a face”, em que uma delas formula questões e a outra responde. As entrevistas podem ser classificadas em estruturadas, semiestruturadas e não estruturadas.

Em entrevistas estruturadas o pesquisador indaga um número de questões fixas em uma ordem pré-determinada. Em entrevistas semiestruturadas essas questões não são tão rígidas, sendo que podem mudar de ordem e de conteúdo, conforme o desenrolar da pesquisa. Por fim, entrevistas não estruturadas são aquelas em que o pesquisador tem uma área de interesse, e deixa a conversação se desenvolver dentro dessa área (ROBSON, 2002).

Adotou-se, para o presente trabalho, a estratégia de entrevista informal, que é uma classe de entrevista não estruturada. A entrevista informal pode acontecer sempre que uma oportunidade surge para uma conversa sobre um tópico de interesse no local da pesquisa. Normalmente, esta oportunidade nasce após um período de observação, e o investigador busca entendimento sobre algo que aconteceu. Apesar de não ser indicada como método principal de coleta de dados, esta classe de entrevista pode ser de grande valia em qualquer pesquisa flexível. Através dela, pode-se obter opiniões espontâneas e naturais dos envolvidos em uma determinada situação (ROBSON, 2002).

As entrevistas foram aplicadas aos engenheiros e projetistas envolvidos no processo de projeto de estruturas em concreto armado para obras de saneamento. Os tópicos abordados durante as entrevistas visavam sempre responder as perguntas do estudo de caso, ou seja, procuravam compreender o processo de projeto, os requisitos de informação, e como o processo poderia ser melhorado.

3.4.3 Análise documental

Em complementação à observação participante, utilizou-se ainda uma análise de documentos de interesse quando do estudo de caso. Segundo Gil (2002) a pesquisa documental se assemelha com a pesquisa bibliográfica. A diferença primordial entre estas é o tipo de material consultado. Enquanto a pesquisa bibliográfica se vale de publicações de outros autores, a pesquisa documental faz uso de materiais que não receberam tratamento

analítico. Yin (2001) afirma que para os estudos de caso o uso mais importante de documentos é corroborar e valorizar as evidências oriundas de outras fontes.

Como já especificado, os documentos analisados na presente pesquisa foram desenhos, memórias de cálculo, relatórios, projetos, entre outros.

3.5 TESTES DE VALIDADE

A qualidade de determinado estudo pode ser julgada de acordo com certos testes lógicos (YIN, 2001). Robson (2002) defende uma avaliação cética das descobertas e interpretações de uma pesquisa. Miles e Huberman (1994) afirmam que se deve ter cuidado com questões de viés, pois elas podem enfraquecer ou até mesmo invalidar as conclusões de uma investigação.

Yin (2001) apresenta quatro testes que têm sido utilizados para determinar a qualidade da pesquisa: validade do constructo, validade interna, validade externa e confiabilidade. A validade do constructo procura estabelecer medidas operacionais corretas para os conceitos que estão sob estudo, reduzindo a subjetividade com relação aos dados levantados. A validade interna busca apresentar a relação causal entre fatos por meio da qual são mostradas certas condições que levam a outras condições. A validade externa tem o objetivo de verificar se as descobertas de um estudo são generalizáveis além do estudo de caso imediato, estabelecendo seu domínio. Por fim, a confiabilidade visa demonstrar que as operações de um estudo podem ser repetidas, apresentando o mesmo resultado

As táticas disponíveis para realizar os testes, assim como suas aplicações no presente trabalho estão relacionadas no Quadro 15.

Quadro 15 - Testes de validade

TESTES	TÁTICAS DISPONÍVEIS	APLICAÇÃO
Validade do constructo	<ul style="list-style-type: none"> - Várias fontes de evidência; - Encadeia as evidências; - Revisa o rascunho do relatório do estudo por informantes-chave. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evidências provenientes de revisão bibliográfica, análise documental, observação participante e entrevistas - Relatório do estudo de caso revisado pelo diretor da organização estudada
Validade interna	<ul style="list-style-type: none"> - Faz adequação ao padrão; - Faz construção da explanação; - Faz análise de séries temporais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Os mapas de processo e os requisitos de troca elaborados constituem-se em uma explanação da realidade - O relatório do estudo de caso (Capítulo 4) foi redigido considerando a sequência cronológica de um projeto de estruturas
Validade externa	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza lógica de replicação em estudos de casos múltiplos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudos de casos semelhantes citados na revisão bibliográfica chegaram a conclusões similares da presente pesquisa (deficiências no modelo IFC e novos fluxos de trabalho para as áreas analisadas) - Generalização analítica: os resultados do estudo são generalizados a mapas de processos e a requisitos de troca
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza protocolo de estudo de caso; - Desenvolve banco de dados para estudo de caso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização do protocolo de coleta de dados no desenvolvimento do estudo de caso

Fonte: Baseado em Yin (2001)

3.6 SELEÇÃO DO CASO

Para Robson (2002), na seleção das amostras (ou casos) da pesquisa, deve-se ter em mente como os dados serão analisados. Assim, o caso foi escolhido de forma a propiciar o adequado mapeamento dos processos e dos requisitos de informação em projetos de estruturas em concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM. Portanto, o caso da presente pesquisa é a própria organização onde será observado o processo. Optou-se pelo setor de projetos para obras de saneamento devido ao mesmo ser o que de fato utiliza os aplicativos BIM.

Uma vez no setor, foram observados diversos projetos ao longo de aproximadamente 6 meses. É importante ressaltar que existiram pequenas variações entre os projetos. Todavia, os resultados aqui relatados expõem a realidade para a maioria dos projetos, isto é, constituem-se em um retrato de um projeto típico.

3.7 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

Para Miles e Huberman (1994), o processo de análise compreende três fluxos: redução dos dados, apresentação dos dados, e desenvolvimento e verificação da conclusão. O processo de redução de dados se refere à seleção, enfoque, simplificação, abstração e transformação dos dados que aparecem no decorrer da coleta. A apresentação dos dados busca dispor as informações de forma organizada e comprimida, permitindo, portanto, a formulação de conclusões. A etapa de desenvolvimento e verificação da conclusão deriva da redução e da apresentação dos dados, assim como da própria etapa de coleta (MILES e HUBERMAN, 1994).

A redução dos dados foi feita através de memorandos e mapas de processo preliminares. De acordo com Miles e Huberman (1994), memorandos não apenas reportam dados, mas também ligam partes de dados segundo um determinado núcleo. Logo, os acontecimentos do estudo de caso foram anotados em um memorando, conforme a sequência dos eventos. Além disso, no memorando constaram esboços dos requisitos de informação das atividades observadas. Os mapas de processo preliminares deram suporte à confecção dos mapas definitivos.

A apresentação dos dados foi feita, através de mapas de processos em linguagem BPMN, juntamente com os requisitos de informação em um padrão similar ao apresentado por Eastman *et al.* (2010). Alterou-se o padrão apresentado por Eastman *et al.* (2010) no intuito de serem apresentadas apenas as informações mais relevantes para o grau de detalhamento pretendido na presente pesquisa. Dessa maneira, os quadros que representam os requisitos de troca contêm cada informação necessária para um intercâmbio entre atividades, um campo que define se essas informações são obrigatórias ou opcionais, um espaço para observações, e, por fim, a entidade IFC que daria suporte à informação em questão. Ademais, previamente à apresentação dos mapas, foi desenvolvido um relatório do estudo de caso, descrevendo-o em detalhes.

A conclusão buscou propor um processo de projeto que otimizasse a utilização dos sistemas BIM em projetos de estruturas de concreto para obras de saneamento. Tal processo foi elaborado com base nas três fontes de evidências (observação participante, entrevistas e análise documental). Isto é, ocorreu a triangulação dos dados, fato que dá robustez à conclusão.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 A EMPRESA DO ESTUDO

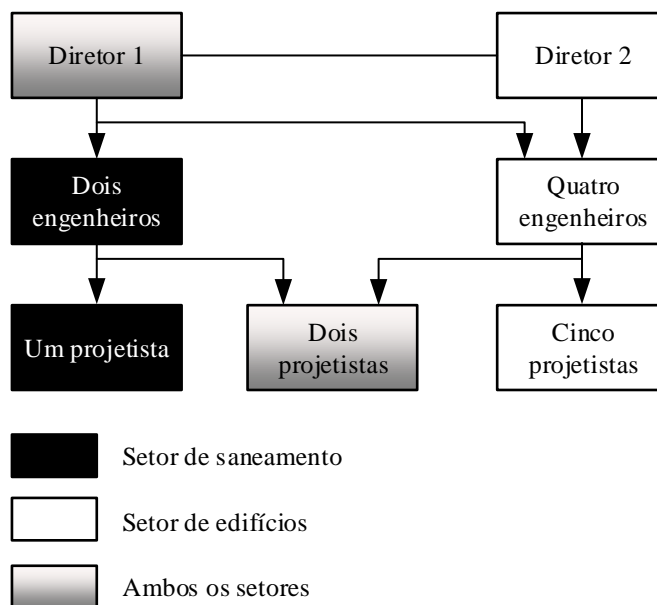
A empresa estudada na presente pesquisa tem sua sede na cidade de Curitiba, estado do Paraná. Com cerca de 25 anos de existência, atualmente ela conta com 18 empregados. Destes, oito são engenheiros civis, incluindo dois diretores, oito são projetistas e dois auxiliam na administração do escritório. O corpo de engenheiros civis é composto por profissionais qualificados. Os dois diretores atuaram como professores universitários por aproximadamente 20 anos, e possuem larga experiência na área de estruturas. Um dos engenheiros possui mestrado em engenharia de estruturas. Outros três encontram-se cursando mestrado e um cursando especialização em estruturas.

A organização é especializada em projetos de estruturas em concreto armado e protendido, além de atuar nos segmentos de pré-moldados e alvenaria estrutural. Cabe citar ainda que a empresa também desenvolve, em menor número, laudos, perícias e projetos de reforço estrutural. Os projetos desenvolvidos são de edificações residenciais, comerciais, indústrias e obras de saneamento. De fato, internamente, dois grandes setores podem ser distinguidos: projetos de estruturas de edifícios e projetos de estruturas para obras de saneamento. Estes serão doravante denominados setor de edifícios e setor de saneamento, respectivamente.

O setor de projetos para edifícios engloba a maior parte dos funcionários. Nele atuam seis engenheiros civis, incluindo os dois diretores, e sete projetistas. O ramo de projetos para obras de saneamento conta com dois engenheiros civis em tempo integral, além da dedicação parcial de um dos diretores. Em dedicação exclusiva a este setor existe um projetista; ainda, dois projetistas que trabalham no setor de edifícios atuam parcialmente no setor de saneamento. A estrutura organizacional da empresa pode ser visualizada na Figura 23.

Os trabalhos desenvolvidos no escritório normalmente são encaminhados dos diretores para os engenheiros. Estes desempenham os cálculos e detalhamentos necessários e, na sequência, fornecem aos projetistas as informações indispensáveis para a geração dos desenhos do projeto. Assim, o intento das setas constantes da Figura 23 é tão somente indicar simploriamente esta sequência.

Figura 23 - Estrutura organizacional da empresa



Fonte: O autor.

Percebeu-se na empresa o considerável investimento em tecnologia da informação.

O setor de edifícios, através dos engenheiros, faz uso extensivo do *software* CAD/TQS 17 para o cálculo e detalhamento das estruturas. O CAD/TQS (TQS, 2014) é um sistema computacional desenvolvido pela TQS Informática Ltda. ao longo dos últimos 20 anos. Além do sistema CAD/TQS, os projetistas utilizam o programa complementar CAD/AGC&DP, voltado para a criação de desenhos de armaduras. Tal sistema pode ser utilizado de forma integrada ou independente dos demais programas TQS. Por fim, o setor ainda utiliza o programa ADAPT, para o cálculo de pavimentos de edifícios protendidos. O ADAPT é desenvolvido por uma empresa californiana de mesmo nome e está presente no mercado há cerca de 30 anos (ADAPT, 2014). Ele possui módulos específicos para projeto de pontes, pavimentos de edificações, fundações, pórticos, entre outros.

O setor de saneamento utiliza primordialmente dois aplicativos: o Scia Engineer versão 2013 e o Allplan Engineering versão 2013. Porém, é utilizado também, com menor frequência, o sistema CAD/AGC&DP para a geração de alguns desenhos, como será explicitado no decorrer deste trabalho. O Scia Engineer é um *software* de análise e projeto de estruturas de aço, concreto, madeira, alumínio e mistas (SCIA ENGINEER, 2014). Ele é desenvolvido pela Nemetschek, uma empresa de *software* da Bélgica fundada em 1974 e membro da BuildingSMART. O Scia Engineer é certificado para o padrão IFC 2x3, e dá suporte a normas de projetos de estruturas de 16 países. Para a análise estrutural, o Scia faz uso do método dos elementos finitos. Como será abordado oportunamente, uma vantagem do

software é a integração existente entre o modelo estrutural e outros tipos de informação, visto que ele propõe ser BIM. Por exemplo, através do Scia é possível criar relatórios de cálculo que são atualizados automaticamente quando ocorrem mudanças no modelo estrutural.

O Allplan Engineering é um programa BIM desenvolvido também pela Nemetschek. Sua primeira versão, chamada somente de Allplan, foi lançada em 1984 e focava-se em arquitetura. No momento, o Allplan possui módulos específicos para arquitetura, gerenciamento de facilidades, gerenciamento de custos e, finalmente, engenharia (NEMETSCHKEK ALLPLAN, 2014). A versão destinada à engenharia apresenta diversas ferramentas eficientes focadas na modelagem de armaduras para estruturas de concreto. Ela também dá suporte ao formato IFC e, assim como o Scia Engineer, propõe uma integração entre os aplicativos utilizados na indústria. De fato, o Scia Engineer e o Allplan Engineering são dois programas que procuram interagir entre si. Por exemplo, os resultados das análises estruturais, obtidos no Scia, podem ser exportados e utilizados no Allplan. Similarmente, o modelo BIM geométrico, gerado no Allplan, pode ser também exportado e utilizado para a criação do modelo de cálculo estrutural no Scia.

De forma complementar, em ambos os setores da empresa são utilizados programas como o Microsoft Word, para processamento de textos, e o Microsoft Excel, para cálculos adicionais.

Como o objetivo da presente pesquisa é explorar o processo de projeto de estruturas de concreto armado através de sistemas BIM, o setor de saneamento, que faz extensivo uso desta sorte de aplicativos, foi observado quando do estudo de caso.

4.2 O SETOR DE SANEAMENTO

O setor de saneamento, do ponto de vista espacial, encontra-se localizado na mesma sala do setor de edifícios. Como já mencionado, dedicam-se exclusivamente a ele dois engenheiros e um projetista; em tempo parcial, existe a colaboração de um dos diretores e de dois projetistas.

O Diretor 1, que atua no setor de saneamento, foi também o fundador da empresa e desenvolve projetos para obras de saneamento há mais de 30 anos. Assim, constata-se a grande experiência profissional do mesmo. Um dos engenheiros que atua no setor encontra-se na empresa há mais de um ano. Este foi responsável pela implantação dos aplicativos BIM

que hoje são amplamente utilizados. O outro engenheiro, que é o autor da presente pesquisa, foi contratado pela organização há aproximadamente seis meses. O projetista em dedicação exclusiva ao setor trabalha na empresa há três meses, e possui experiência com projetos de estruturas pré-moldadas em concreto, além de já possuir noções básicas sobre o aplicativo Allplan Engineering. Os dois projetistas em dedicação parcial ao setor possuem grande experiência no desempenho das atividades, atuando na empresa há mais de dez anos.

Como foi citado, a implantação dos aplicativos BIM ocorreu há relativamente pouco tempo. Foram adquiridas licenças para os aplicativos Scia Engineer e Allplan Engineering com o objetivo de desenvolver os projetos estruturais para obras de saneamento integralmente com tais sistemas.

Anteriormente não existia uma divisão tão clara entre os setores da empresa. Prévia à adoção dos *software* BIM, os cálculos estruturais eram realizados com auxílio do aplicativo SAP2000, da empresa Computer and Structures. A Computer and Structures foi fundada em 1975 (CSI AMERICA, 2013), e o *software* SAP2000 existe há mais de 30 anos. Ele é uma ferramenta para análise e projeto estrutural que utiliza o método dos elementos finitos. Porém, não oferece um suporte adequado aos conceitos BIM, tão pouco às normas de projeto brasileiras. Após a realização dos cálculos estruturais, as informações necessárias eram passadas aos projetistas, que desenvolviam os desenhos através do sistema TQS/AGC&DP.

A adoção dos aplicativos BIM foi seguida de uma série de treinamentos. Os engenheiros foram treinados no Scia Engineer, e alguns projetistas e engenheiros no Allplan Engineering. Por algum tempo, no entanto, o Allplan Engineering não foi intensamente utilizado. O motivo foi a dificuldade de uso do mesmo, e a rotina acelerada do escritório de projetos. Ou seja, os projetistas não apresentaram uma boa produtividade no novo aplicativo, possivelmente devido ao pequeno tempo de treinamento e adaptação, e este foi deixado de lado momentaneamente. Já o Scia Engineer foi utilizado plenamente desde sua aquisição para o cálculo das estruturas de obras de saneamento. É interessante citar que nesta época foram desenvolvidos nos aplicativos os padrões utilizados pela empresa (carimbos, documentos, espessuras de linhas nos desenhos, hachuras, entre outros).

4.3 PROJETOS DO SETOR DE SANEAMENTO

Segundo o projeto de lei federal 5296/2005 (BRASIL, 2005), saneamento básico é o conjunto de serviços e ações que visam alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, nas condições que maximizem a promoção e a melhoria das condições de vida nos meios urbano e rural. Ainda, podem ser identificados quatro tipos de serviços públicos que fazem parte do saneamento: abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos e o manejo das águas pluviais.

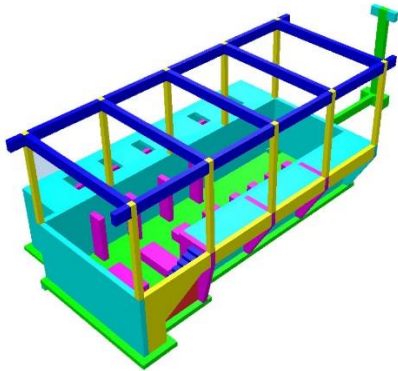
Os projetos estruturais que o setor de saneamento desenvolve são basicamente de dois sistemas: Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES).

O abastecimento de água (KOBAYAMA; MOTA; CORSEUIL, 2008) diz respeito às atividades necessárias para produzir água potável a partir de uma fonte de água bruta e distribuí-la sem interrupções e com o mínimo possível de falhas. Para isso, a primeira estrutura necessária no SAA é uma estação elevatória de água bruta que capte a água em uma fonte superficial ou subterrânea. Após a captação, dependendo das características da água, esta é elevada até uma estação de tratamento de água (ETA). Na estação de tratamento existem diversas estruturas que visam tornar a água apta ao consumo humano, como filtros, desarenadores, flocculadores, decantadores, aeradores, entre outros. Em seguida, com o fim do tratamento, a água é elevada até um reservatório. Os reservatórios podem ser de diversos tipos, como elevados, apoiados, enterrados ou semienterrados. Do reservatório, a água, através da rede de abastecimento, parte para o consumo.

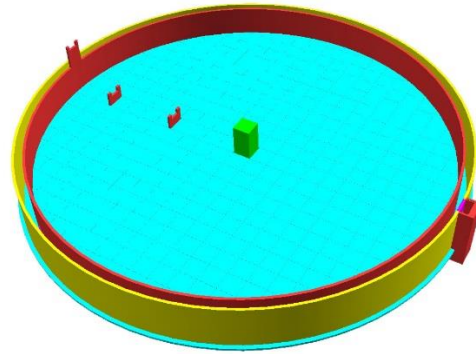
O esgotamento sanitário, por sua vez, compreende os atos de coleta, tratamento e disposição dos efluentes produzidos nas atividades humanas. O esgoto coletado nos diversos pontos de utilização normalmente é transportado, através de uma rede de tubulações, até uma estação elevatória de esgoto (EEE). Na sequência, o mesmo é movido até uma estação de tratamento de esgotos (ETE). Como na ETA, diversas estruturas são responsáveis por tratar o esgoto, deixando-o em condições satisfatórias para a disposição no ambiente. Entre essas estruturas pode-se citar novamente filtros, desarenadores, flocculadores, decantadores, aeradores, digestores, entre outros. Após o tratamento, o esgoto pode ser lançado em um corpo de água ou até mesmo aplicado no solo (SEBRAE, s.d.).

Na Figura 24 apresentam-se exemplos das estruturas supracitadas.

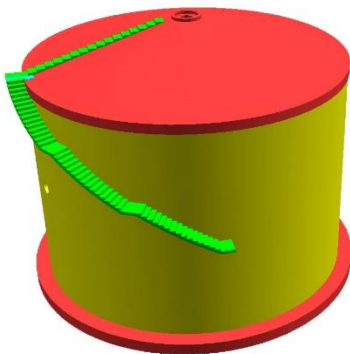
Figura 24 - Exemplos de estruturas para obras de saneamento



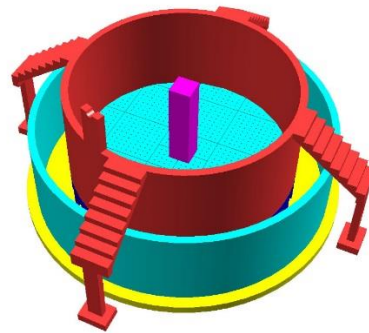
Estação elevatória



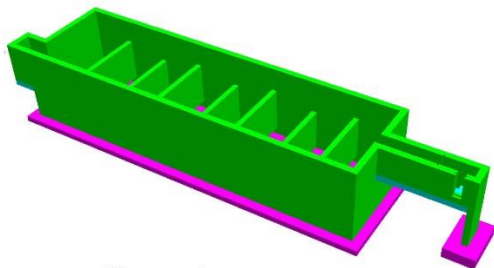
Filtro biológico



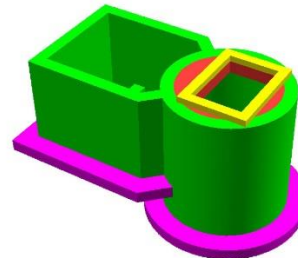
Digestor



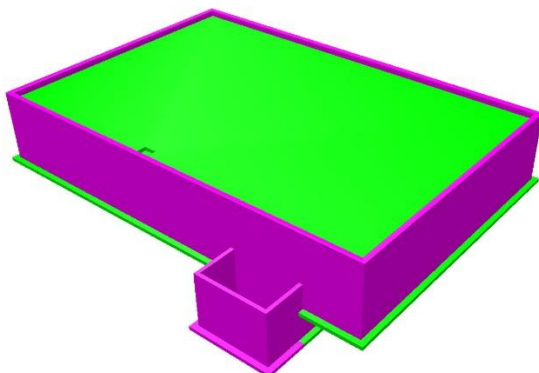
Filtro biológico



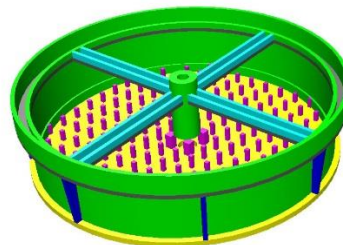
Câmara de contato



Elevatória de esgoto



Reservatório apoiado



Filtro anaeróbio

Fonte: O autor.

O objetivo do relato acima é contextualizar o tipo de estrutura constante nas obras de saneamento. O ambiente, devido à constante presença de água e esgoto, demonstra-se altamente agressivo, exigindo cuidados especiais no projeto, como por exemplo, um cobrimento das armaduras diferenciado. As estruturas estão constantemente sujeitas a empuxos de água e de solo, além de frequentemente serem dotadas de formas curvas, requerendo atenção maior no cálculo e no detalhamento.

Na empresa estudada, o cliente dos projetos é a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). A Sanepar foi criada no ano de 1963 e é responsável pelo abastecimento de água, coleta de esgoto e gerenciamento de resíduos sólidos no estado do Paraná (SANEPAR, 2014). Ela fornece água tratada há cerca de 9,5 milhões de pessoas e sistema de esgotamento sanitário a 6 milhões. O regime de contratação dos projetos para a Sanepar é a licitação. Licitação é o procedimento através do qual a administração pública direta ou indireta contrata serviços ou adquire produtos. As licitações no Brasil são reguladas pelas leis 8.666/1993 e 10.520/2002. Segundo a Lei 8.666/1993 (BRASIL, 1993), as licitações para execução de obras e serviços devem iniciar pelo projeto básico, seguindo para o projeto executivo, e, por fim, a execução dos serviços. Ainda segundo tal lei, projeto básico é o

conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução...

Projeto executivo, por sua vez, é “o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas”. Tais definições são importantes no intuito de se ter conhecimento do que cada tipo de projeto deve conter.

Os projetos estruturais desenvolvidos pela empresa deste estudo de caso podem ser enquadrados, segundo a Lei 8.666/1993, como projetos executivos. Para a realização de um projeto executivo, deve-se ter antes, como acima mencionado, um projeto básico. Assim, para que os cálculos e detalhamentos, e o projeto estrutural em si, fossem desenvolvidos, partia-se sempre de um projeto básico de engenharia de autoria de outra empresa. Tais projetos básicos deveriam especificar plenamente os sistemas de saneamento das obras. Todas as estruturas necessárias para o abastecimento de água ou para o tratamento de esgotos precisariam estar

explicitadas, bem como sua locação no terreno e suas dimensões internas mínimas necessárias.

Além do projeto básico, outro procedimento muito importante que deve ser realizado para dar suporte ao projeto executivo é a investigação do solo. Segundo Velloso e Lopes (2011), os principais procedimentos para investigação do subsolo que visam suprir as necessidades de um projeto de fundações são poços, sondagens a trado, sondagens a percussão com SPT (*Standard Penetration Test*), sondagens rotativas, sondagens mistas, ensaio de cone (CPT, *Cone Penetration Test*) e ensaio pressiométrico.

Para os projetos do setor de saneamento a investigação do subsolo é, via de regra, feita através da sondagem a percussão com SPT. Por meio deste procedimento pode-se ter conhecimento do tipo e da resistência do solo, além do nível do lençol freático. Com tais informações é possível especificar o tipo de fundação que será utilizado em cada estrutura.

As fundações podem ser superficiais ou profundas. Sempre que viável, as fundações das estruturas são superficiais, isto é, compõem-se de sapatas ou *radiers*. Esporadicamente, em se tratando de solo de baixa resistência, fundações profundas, como estacas escavadas ou cravadas apoiadas sobre blocos, também são utilizadas.

A informação do nível do lençol freático permite, ainda, determinar a existência ou não de um carregamento importante nas estruturas que se encontram enterradas ou semienterradas: a subpressão. A subpressão é um empuxo de água externo que pode desestabilizar a estrutura como um todo, fazendo-a flutuar, ao mesmo tempo em que exerce uma carga considerável nas paredes e nas lajes, influenciando drasticamente seu dimensionamento estrutural.

4.4 PROCESSO DE EMPREENDIMENTO DE OBRAS DE SANEAMENTO

Neste capítulo será relatado o processo geral de empreendimento de obras de saneamento, no qual o projeto de estruturas encontra-se inserido.

Os empreendimentos de saneamento têm início com estudos internos, desenvolvidos na Sanepar, onde são detectadas demandas nos sistemas de abastecimento de água ou de esgotamento sanitário. Para suprir tais demandas, inicialmente faz-se uma licitação para o projeto básico de engenharia. Nesta, podem estar inseridos também serviços de sondagem preliminares ou ainda projetos complementares, como elétricos, hidráulicos e topográficos.

A empresa ganhadora da licitação desenvolve e aprova o projeto básico junto à Sanepar. Em seguida, o mesmo, conforme sua prioridade, vai para uma “lista de espera”, aguardando a licitação para o projeto executivo, onde está inserido o projeto estrutural. A licitação para este projeto pode também vir acompanhada de outros serviços, como projeto geotécnico, investigação do solo, execução da obra, entre outros. O projeto estrutural, que é o alvo deste estudo, será detalhado em um capítulo subsequente.

A organização vencedora desta última licitação desenvolve, com base no projeto básico e nos demais serviços realizados, o projeto estrutural da obra e o aprova junto à contratante. Posteriormente, na hipótese de não estar determinada uma empresa executora da obra, uma nova licitação é feita. A empresa responsável irá receber todos os projetos elaborados, e deverá então, construir o empreendimento.

Existe ainda uma alternativa em que uma única licitação compromete uma só empresa com todos os projetos e também com a execução. Todavia, ela não é largamente utilizada.

4.5 PROCESSO DE PROJETO DE ESTRUTURAS PARA OBRAS DE SANEAMENTO

Neste capítulo será descrito o processo de projeto de estruturas para obras de saneamento observado na empresa. É devidamente importante ressaltar que os dados aqui apresentados e utilizados na prática pela empresa (carregamentos, resistências, coeficientes, pesos específicos, cobrimentos, entre outros) baseiam-se nas recomendações da NBR 6118:2003 (ABNT, 2003), nas prescrições para obras de saneamento da Sanepar (SANEPAR, 2011) e na experiência profissional nos membros da organização.

Após definido o resultado da licitação para o projeto executivo, a contratante (Sanepar) realiza em suas dependências físicas uma reunião com a empresa que desenvolverá o projeto estrutural. O representante da empresa na reunião é o Diretor 1. Neste encontro, uma visão geral do empreendimento é passada. São discutidos e esclarecidos os principais tópicos relacionados ao projeto em questão. Aspectos específicos e peculiares são tratados, dando ulterior suporte às definições das várias estruturas da obra e às correspondentes hipóteses de cálculo, bem como à própria execução do empreendimento. Como aspecto peculiar, pode-se citar, por exemplo, condições geotécnicas severamente desfavoráveis, ou então, estruturas não convencionais, que requerem maior atenção no cálculo e detalhamento. Ainda, sempre que a

obra possuir uma estrutura já projetada para alguma outra obra, esta é identificada. Tais estruturas são ditas repetidas.

Nesta reunião normalmente são entregues ao Diretor 1, em formato físico e em formato digital (CD-ROM), as pranchas com os desenhos do projeto básico de engenharia e os documentos relacionados à investigação do solo no local do empreendimento. É oportuno o comentário de que os projetos básicos de engenharia recebidos são totalmente desenvolvidos em plataforma CAD 2D. Até o momento da escrita deste trabalho, nenhum projeto foi recebido em plataforma BIM. O relatório da investigação do solo é recebido em formato *pdf*, *doc* ou ainda diretamente em planilhas do Excel. Juntamente com o relatório existe um desenho de locação dos furos de sondagem e demais análises feitas no local da obra.

Já na empresa, os desenhos do projeto básico e demais documentos obtidos na reunião inicial são armazenados em um servidor de rede. No servidor, as pastas encontram-se organizadas por obra. Dentro da pasta de cada obra existem as pastas relacionadas, por exemplo, ao projeto básico, à sondagem, aos relatórios de cálculo, desenhos do projeto executivo, entre outros.

Neste ponto, o Diretor 1 faz uma avaliação dos desenhos do projeto básico e um pré-lançamento dos elementos estruturais. Na cópia física destes desenhos, sempre que conveniente, são feitas anotações que precisam ser observadas nos processos de cálculo e detalhamento das estruturas. Tais anotações normalmente dizem respeito às espessuras de elementos como paredes e lajes, seções transversais de vigas e pilares, armaduras para componentes de concreto calculadas manualmente, tipo de fundação, entre outros. Estruturas de porte reduzido, que prescindem de dimensionamento estrutural, como, por exemplo, poços de visita, pequenas estações elevatórias e bases para equipamentos, podem ter também suas armaduras (que em cálculo resultariam em mínimas) detalhadas nessa fase. Além disso, localizam-se os projetos das estruturas repetidas e avaliam-se alterações que poder vir a ser necessárias. Vale citar que, por questões de tempo e volume de trabalho, nem sempre tais atividades podem ser desempenhadas pelo Diretor 1. Esporadicamente elas recaem sobre os engenheiros do setor de saneamento.

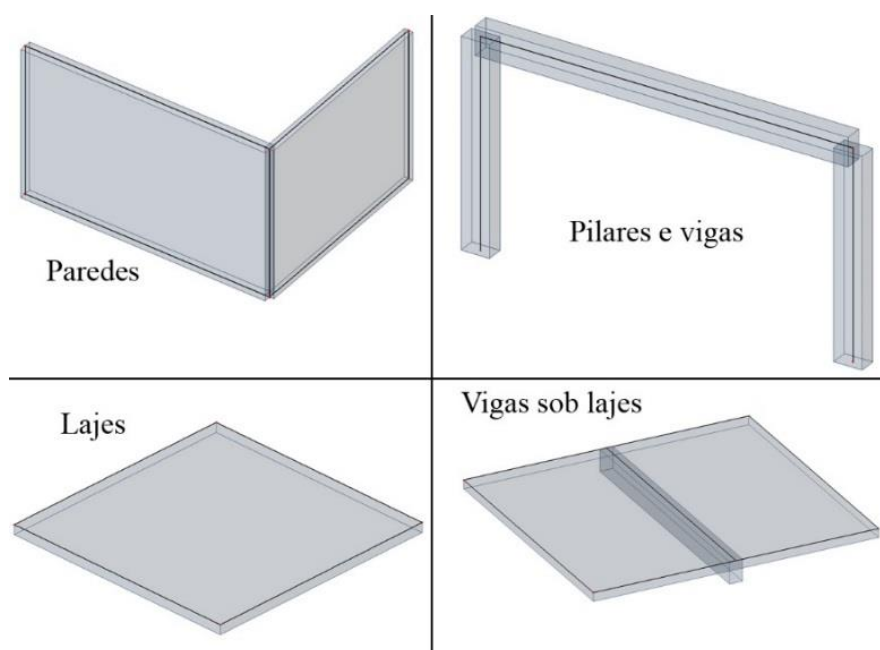
Na sequência, é feita a divisão dos trabalhos entre os colaboradores do setor. Os desenhos do projeto básico das estruturas de pequeno porte, que já tem seu pré-dimensionamento e sua definição de armaduras, são encaminhados, com as anotações relevantes, diretamente aos projetistas para a geração dos projetos de forma e armadura. O processo de geração de desenhos de forma e armadura será explorado na sequência deste estudo. Para as estruturas repetidas, isto é, que já foram projetadas para alguma outra obra,

podem ser necessários poucos ou nenhum ajuste, ou ainda, várias alterações. Na primeira hipótese, quando as poucas alterações não afetam consideravelmente o comportamento da estrutura, e quando o local da obra apresenta solo apropriado para a mesma solução de fundação, o projeto básico também é encaminhado diretamente aos projetistas para a posterior adaptação dos desenhos existentes. Caso sejam necessárias várias alterações, o que normalmente ocorre quando a estrutura foi dimensionada com uma norma técnica que já não está em vigor e são, portanto, necessárias mudanças de resistência do concreto e de cobrimentos de armadura, a estrutura deve ser novamente calculada. Estas estruturas, juntamente com aquelas de médio e grande porte que não possuem um projeto prévio, são encaminhadas aos engenheiros do setor para o dimensionamento estrutural.

O dimensionamento é primordialmente realizado através do aplicativo Scia Engineer. Os engenheiros, de posse dos desenhos do projeto básico, que podem apresentar as anotações do Diretor 1, e do relatório de investigação do solo, procedem à criação do modelo BIM estrutural no *software*. É importante ressaltar que é criado um modelo para cada estrutura, e não um modelo único para todo o empreendimento. Esse modelo é composto, normalmente, por uma combinação de elementos de superfície (lajes e paredes) e elementos lineares (vigas e pilares). As paredes são modeladas pelos seus planos médios. Os pilares e, usualmente, as vigas através dos centros de gravidade de suas seções transversais. Já as lajes são discretizadas a partir de suas faces superiores. Vigas que dão apoio à lajes podem ser modeladas através de suas faces superiores ou, quando se tratar de viga invertida, faces inferiores. As diversas situações de modelagem podem ser vistas na Figura 25. Os elementos estruturais são dispostos de maneira adequada, respeitando-se as dimensões estipuladas no projeto básico, dimensões mínimas da norma NBR 6118 (ABNT, 2003) e as observações feitas pelo Diretor 1. Tanto os elementos lineares como os de superfície devem apresentar propriedades de elasticidade e resistência correspondentes ao concreto C40 (resistência característica à compressão aos 28 dias, $f_{ck} = 40$ MPa) e cobrimento igual a 4,5 cm. Utilizam-se esses valores devido à alta agressividade ambiental a que a estrutura será exposta.

Após a criação dos vários componentes, comumente parte-se para a determinação dos parâmetros dos apoios da estrutura. Quando o tipo de fundação é o superficial, isto é, através de sapatas ou *radiers*, determina-se o coeficiente de mola do solo. Para esta especificação é necessário identificar, por meio das sondagens, o tipo de solo do local. Com esta informação, estima-se o coeficiente de mola baseando-se no módulo de reação vertical do solo (valores dados na Tabela 1). Este coeficiente é inserido no programa e aplicado aos elementos de fundação.

Figura 25 - Modelagem dos elementos estruturais



Fonte: O autor.

Em seguida, inicia-se o processo de criação dos carregamentos que irão atuar na estrutura. Os principais carregamentos que atuam em estruturas para obras de saneamento são o peso próprio, que é automaticamente calculado pelo Scia Engineer, sobrecargas permanentes (revestimentos, peso de equipamentos, entre outros) e variáveis (também chamadas de cargas de utilização), empuxos de água, empuxos de solo e subpressão. Esporadicamente são utilizados ainda carregamentos de monovias, alvenarias e de temperatura.

Tabela 1 – Módulo de reação vertical do solo

Tipo de solo	k (módulo de reação vertical, em kN m^{-3})
Turfa leve – solo pantanoso	5.000 a 10.000
Areia fina de praia	10.000 a 15.000
Argila molhada	20.000 a 30.000
Argila úmida	40.000 a 50.000
Argila seca	60.000 a 80.000
Argila seca endurecida	100.000
Silte compactado com areia e pedra	80.000 a 100.000
Silte compactado com areia e muita pedra	100.000 a 120.000
Cascalho miúdo com areia fina	80.000 a 120.000
Cascalho grosso com areia grossa	120.000 a 150.000

Fonte: Adaptado de Moraes (1976)

A sobrecarga permanente normalmente utilizada é de $2,50 \text{ kN/m}^2$ aplicada em todas as lajes. Quando existir um enchimento, um equipamento pesado ou alguma impermeabilização na estrutura em questão, este valor pode ser modificado. Para a sobrecarga variável usa-se o valor de $3,00 \text{ kN/m}^2$. O carregamento é aplicado nas lajes onde existe a possibilidade de acesso frequente de pessoas. Os empuxos de água existem em locais que reservam água ou esgoto, e também são considerados sempre que houver a possibilidade de inundação de alguma estrutura. São criados carregamentos para cada compartimento que pode apresentar-se isolado, isto é, que pode impossibilitar a passagem da água para outro local. A intensidade desses empuxos depende da altura de água que irá existir. Os empuxos de solo ocorrem sempre que a estrutura ou parte dela encontra-se abaixo do nível do terreno. Eles são aplicados nas paredes que estão em contato com o solo e, na falta de parâmetros provenientes de ensaios específicos, são calculados estimando-se o peso específico do solo igual a 18 kN/m^3 e coeficiente de empuxo horizontal igual a $0,35$. A intensidade é então obtida multiplicando-se o peso específico do solo pelo coeficiente de empuxo e pela altura de solo existente. A subpressão, como já abordado, existe sempre que o nível de água do terreno natural, obtido através da sondagem, apresentar-se acima do nível das estruturas. Quando da existência da subpressão, é necessário verificar a estabilidade da estrutura à flutuação separadamente. Ademais, é necessário aplicar o carregamento que ela exerce nas paredes e nas lajes que estão em contato com o lençol freático. A intensidade do carregamento depende também da altura de água. Tanto os empuxos de água e de solo como a subpressão têm intensidades variáveis linearmente de acordo com a altura.

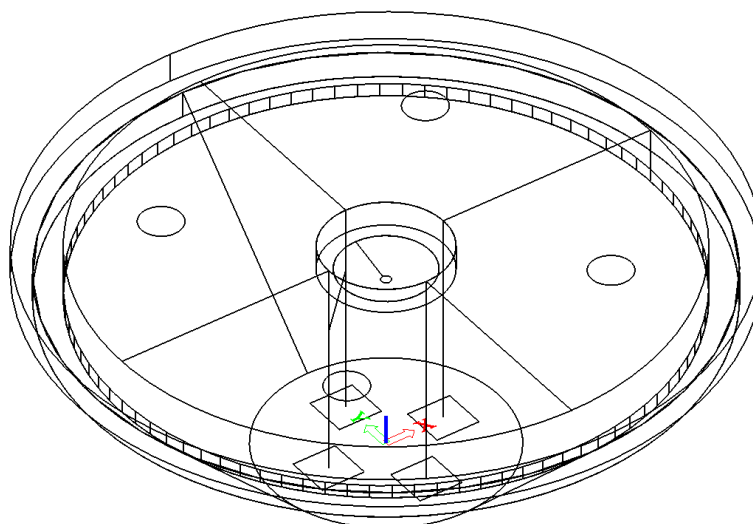
Estruturas que possuem monovias, pontes-rolantes ou guindastes devem ser dimensionadas considerando tais cargas. A capacidade de carga desses equipamentos e, conseqüentemente, a intensidade do carregamento deve ser especificada no projeto básico. À capacidade de carga dos equipamentos é adicionado ainda um valor correspondente ao peso próprio do conjunto. Tais cargas são aplicadas de forma concentrada nos componentes estruturais em que se apoiam, ou, mais raramente, aplicadas como carregamentos móveis. Os carregamentos de alvenaria ocorrem sempre que existirem paredes se apoiando em lajes ou vigas. Por fim, em estruturas que possuem lajes de grandes dimensões expostas constantemente à luz solar, deve ser considerado o efeito da temperatura. É usual adotar uma variação de temperatura uniforme de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Após a aplicação de todos os carregamentos no modelo, procede-se à criação das combinações de cálculo. Utilizam-se, no Scia Engineer, combinações do tipo “Envoltórias Últimas”. Em tais combinações, os diversos carregamentos são arrançados entre si de maneira

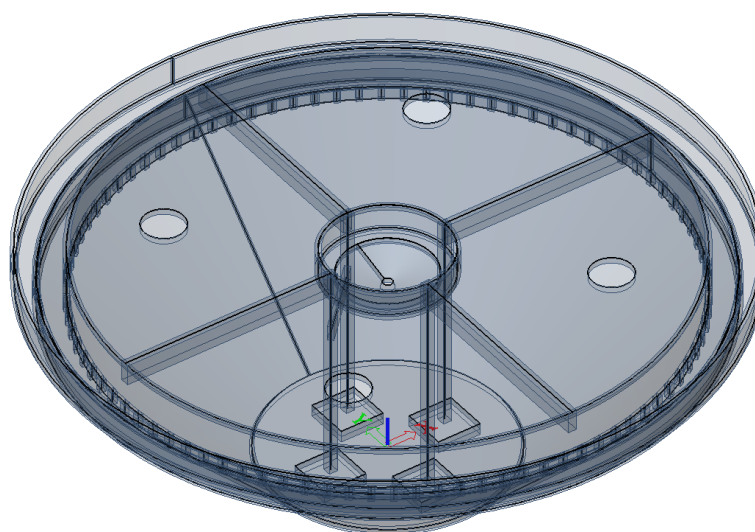
a gerarem as maiores solicitações possíveis nos vários elementos que constituem a estrutura. Além das combinações “Envoltórias Últimas” existem ainda combinações “Lineares”, que nada mais são do que a soma de certos carregamentos. De fato, as combinações “Envoltórias Últimas” são originadas internamente através da “sobreposição” de todas as combinações “Lineares” possíveis. O *software* ainda apresenta as combinações próprias das normas de cálculo de estruturas. Entretanto, como o Scia Engineer ainda não dá suporte as normas brasileiras, esse tipo de combinação não é utilizado. A título representativo, apresenta-se na Figura 26 o modelo de cálculo de um reator anaeróbio desenvolvido no Scia Engineer durante o estudo. O mesmo possui cerca de 7,0 m de altura (abaixo do solo) e 15,0 m de diâmetro.

Figura 26 - Modelo de cálculo de reator anaeróbio

Visualização dos eixos



Visualização dos eixos e espessuras



Fonte: O autor, via *software* Scia Engineer.

Previamente ao cálculo da estrutura pelo programa, é imprescindível a configuração das características da malha de elementos finitos desejada. O *software* apresenta também ferramentas para refinamento das malhas geradas. Podem ser feitos refinamentos em áreas, bordas ou pontos. Como o conjunto de elementos finitos automaticamente gerado pelo sistema geralmente é adequado, os refinamentos de malha não demonstram-se necessários.

Com isso, a estrutura pode enfim ser calculada. O tempo de processamento do programa varia de acordo com o tamanho do modelo e, conseqüentemente, o número de elementos finitos da malha. Para estruturas de obras de saneamento, esse tempo comumente não passa de um minuto.

Após o primeiro processamento, frequentemente são necessários ajustes no modelo. Isto é percebido através da análise dos resultados de deformações de toda a estrutura, tensões no solo de fundação e esforços nos elementos. As alterações no modelo ocorrem de forma iterativa, até que este venha a convergir, ou seja, até que seja alcançado um modelo onde as deformações, tensões e esforços sejam coerentes com o porte da estrutura em estudo.

Nessa atividade, usualmente, a primeira verificação feita, no caso de fundação superficial, é a da tensão no solo de fundação. É avaliado se as tensões atuantes são condizentes com a resistência do solo no local destinado à cada estrutura. Esta tensão resistente é obtida através dos resultados de sondagens. No caso de as tensões atuantes superarem as resistentes, alteram-se as dimensões da fundação e reprocessa-se o modelo, até a situação em que aquelas sejam iguais ou inferiores a estas.

Em seguida, avaliam-se os deslocamentos dos elementos estruturais. Os deslocamentos obtidos em estruturas para obras de saneamento devem respeitar os limites estabelecidos por norma. Portanto, no lançamento da estrutura, evitam-se sempre grandes vãos sem apoios intermediários. A ideia de serem evitadas grandes deformações é seguida pois estas podem acarretar problemas consideráveis na estrutura, como fissuração e conseqüente corrosão de armadura, devido ao ambiente altamente agressivo. No caso de os deslocamentos obtidos superarem os limites impostos pela norma NBR 6118 (ABNT, 2003), muda-se a disposição da estrutura, alterando-se espessuras ou criando-se apoios intermediários como vigas ou pilares.

Na seqüência, procede-se, através do aplicativo, o dimensionamento da armadura de cada elemento. Entretanto, como o Scia, até o momento, não apresenta suporte às normas brasileiras, este dimensionamento é feito com normas estrangeiras. Logo, é necessária a verificação dos valores obtidos para as armaduras. Esta verificação é normalmente feita com o auxílio de planilhas de cálculo do Excel que desempenham os dimensionamentos segundo às

normas brasileiras. Identificam-se os esforços relevantes nos elementos estruturais através das funcionalidades adequadas do Scia, e tais valores são manualmente transferidos às planilhas. Por fim, comparam-se os valores obtidos através do dimensionamento do programa e através do dimensionamento por meio de planilhas. Usualmente os valores encontram-se próximos, e adotam-se os resultados das planilhas. Após esse processo, é avaliado se cada elemento estrutural é capaz de comportar as armaduras determinadas. No caso de a disposição de armaduras não ser adequada, alteram-se as dimensões dos elementos e reprocessa-se o modelo.

A próxima etapa do processo é a geração dos relatórios de cálculo. Os relatórios gerados são os de:

- a) Dados: relatório com os dados da estrutura, carregamentos considerados, combinações, parâmetros do solo, entre outros;
- b) Tensões no solo: relatório que apresenta imagens com as tensões mínimas e máximas no solo abaixo das fundações;
- c) Paredes: relatório feito sempre que existirem paredes de concreto no modelo estrutural. Apresenta imagens com os principais esforços nas paredes e o dimensionamento de armaduras feito pelo programa;
- d) Lajes: relatório condicionado à existência de lajes no modelo. Apresenta figuras com os principais esforços e o dimensionamento de armaduras feito pelo programa;
- e) Vigas: é criado sempre que existirem vigas no modelo estrutural. Apresenta representações dos principais esforços nas vigas e o dimensionamento de armaduras feito pelo programa;
- f) Pilares: relatório feito sempre que existirem pilares no modelo estrutural. Apresenta imagens com os principais esforços e o dimensionamento de armaduras feito pelo programa.

Os relatórios são gerados através da ferramenta Documentos, do Scia Engineer. Esta ferramenta liga o modelo estrutural com os relatórios propriamente ditos. Assim, sempre que ocorrer uma mudança no modelo, como alteração de espessuras, carregamentos ou parâmetros do solo, todos os relatórios podem ser automaticamente atualizados, levando em consideração esta alteração. Ou seja, as imagens que representam os esforços e as armaduras são regeneradas para a nova condição estrutural. Todavia, as planilhas de cálculo externas não são atualizadas, devendo-se o engenheiro fazer as alterações devidas.

O detalhamento das estruturas, que será abordado na sequência, utiliza os relatórios aqui gerados como base. Além disso, pode ser necessário o envio de tais relatórios à contratante. De fato, sempre que quaisquer questões relacionadas a alguma estrutura têm de ser tratadas com terceiros, os relatórios de cálculo estão presentes.

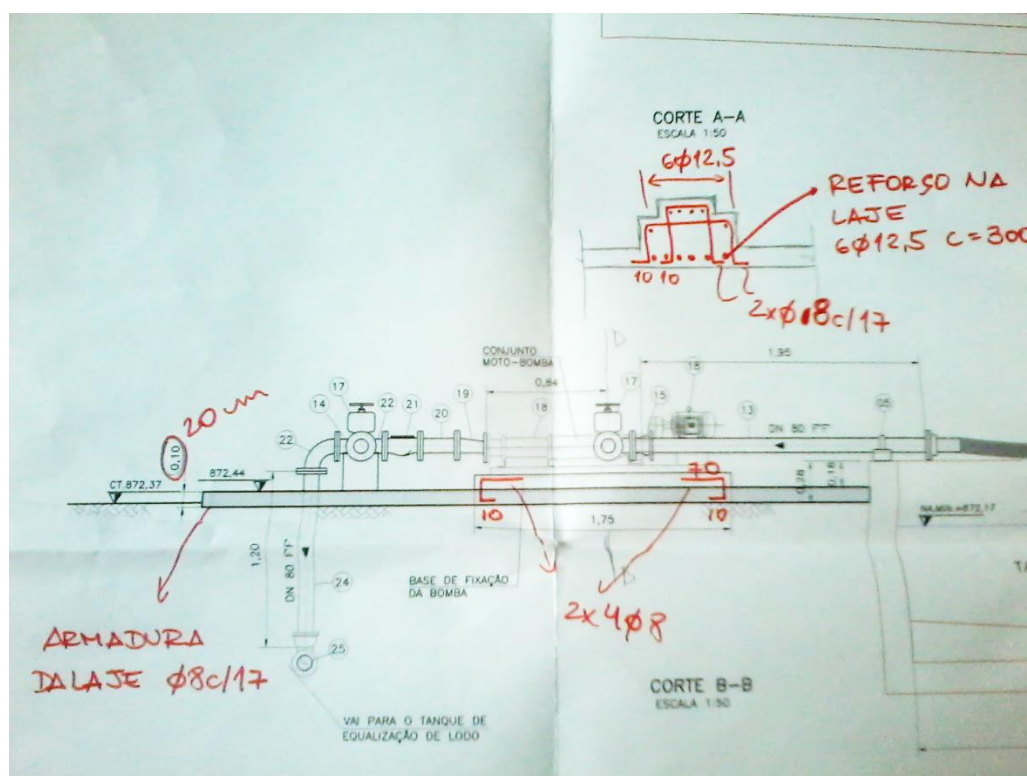
Na sequência, prossegue-se ao detalhamento das estruturas por parte dos engenheiros. Enquanto a etapa de dimensionamento, citada anteriormente, concentra-se apenas em valores de armadura, o detalhamento tem em vista todas as informações necessárias à execução da estrutura em estudo.

Deste modo, na etapa de detalhamento, com base nos relatórios de cálculo, isto é, levando em consideração os esforços nas estruturas e os valores de áreas de armadura necessários para cada região de todos os elementos, os engenheiros decidem os diâmetros, espaçamentos e formatos das barras de aço. Além disso, em algumas situações deve ser determinado o comprimento de cada trecho das barras. Isto é comum em armaduras de reforço, complementares às principais, ou quando uma barra irá existir em apenas um trecho do elemento estrutural, e não em toda a sua extensão. Ainda, mais do que especificar as características de armadura, os engenheiros devem ainda explicitar as dimensões dos elementos estruturais, ou seja, espessuras, seções transversais, altura, entre outros.

Todas essas informações são, via de regra, representadas em forma de desenhos. Esses desenhos são feitos manualmente sobre as pranchas do projeto básico, como representado na Figura 27.

Após o detalhamento da estrutura, pode-se seguir à etapa de geração dos desenhos de forma e armadura. Percebeu-se, no estudo de caso, que esta fase pode ser desenvolvida de três maneiras distintas. Tais maneiras serão doravante denominadas de Fluxo A, Fluxo B e Fluxo C. As principais diferenças existentes entre estas variantes são o responsável pelos desenhos (engenheiro ou projetista) e a plataforma em que eles são desenvolvidos (BIM, através do Allplan, ou CAD 2D, através do CAD/AGC&DP). A escolha de qual fluxo será utilizado é feita pelo diretor da empresa, e tem como base a quantidade de trabalho, como ele está distribuído entre os empregados, e o prazo para entrega dos serviços.

Figura 27 - Anotações nas pranchas do projeto básico



Fonte: O autor.

No Fluxo A, o detalhamento da estrutura feito pelos engenheiros é encaminhado a um dos dois projetistas que trabalham em ambos os setores da empresa (edifícios e saneamento). Estes projetistas utilizam o aplicativo CAD/AGC&DP que, como já ressaltado, se baseia em tecnologia CAD 2D. Assim, de posse do projeto básico e das observações feitas pelos engenheiros, os projetistas desenvolvem, primeiramente, os desenhos de forma. Nestes desenhos, devem estar especificadas todas as dimensões da estrutura, de modo a permitir a execução da mesma em campo. Para isso, são desenvolvidos cortes, detalhes e plantas. Deve-se ainda especificar a resistência do concreto a ser utilizado, o cobrimento das armaduras e a resistência necessária para o solo de fundação. Além disso, é preciso que conste neste desenho a área de forma necessária para cada tipo de elemento que será executado (pilares, vigas, lajes, entre outros), bem como o volume de concreto. Após a criação dos desenhos de forma, os projetistas desenvolvem os desenhos de armadura, também com base nas anotações feitas pelos engenheiros. O CAD/AGC&DP dispõe de ferramentas que permitem a execução de tal tarefa adequadamente. Entretanto, a armadura, da mesma maneira que a forma, é desenvolvida totalmente em ambiente 2D, exigindo um grande esforço de abstração por parte dos projetistas. Cada prancha destes desenhos deve possuir ainda uma tabela resumo de armaduras (gerada automaticamente pelo *software*), que relaciona todas as barras, seus

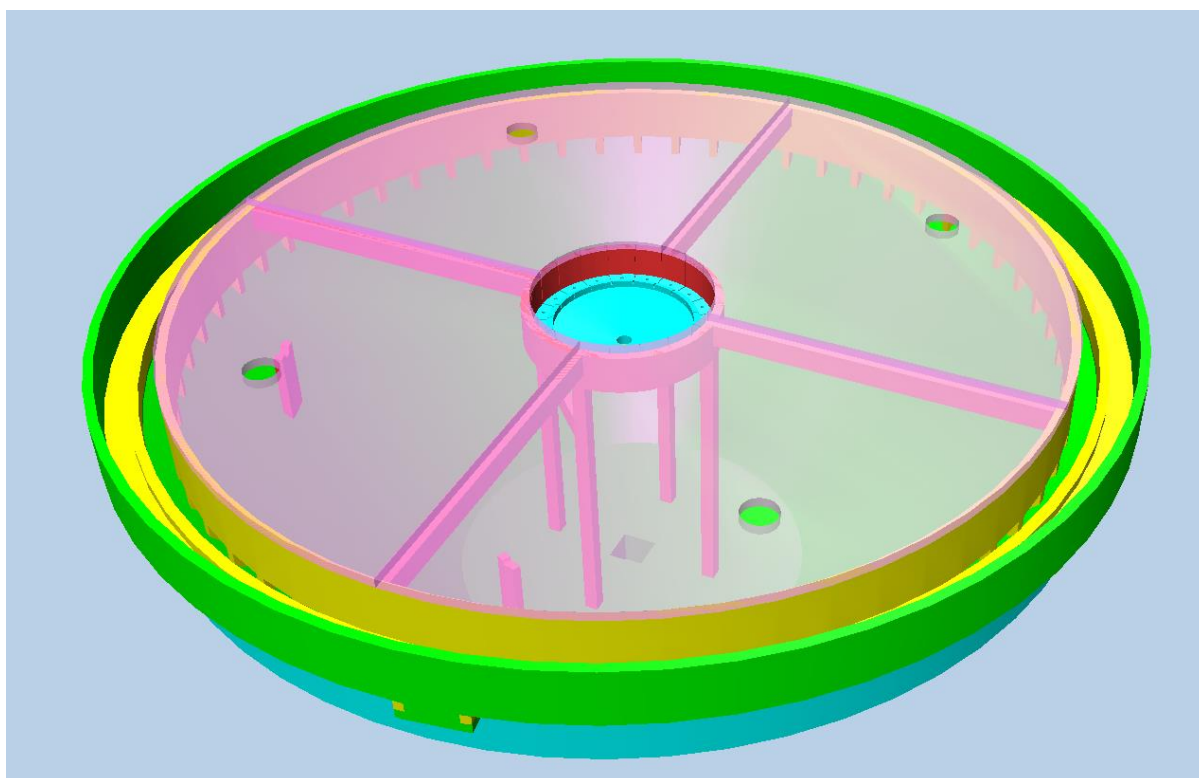
diâmetros, quantidades, comprimentos unitários e totais, peso por diâmetro de barra, e categoria do aço utilizado (CA-25, CA-50 ou CA-60).

No Fluxo B, os desenhos de detalhamento feitos pelos engenheiros são passados ao projetista que trabalha exclusivamente no setor de saneamento. Neste fluxo, utiliza-se o sistema Allplan, que propõe a metodologia BIM. Com base nos desenhos do projeto básico e no detalhamento feito pelos engenheiros, desenvolve-se um modelo BIM que irá servir aos propósitos de geração dos desenhos de forma e armadura. Tal modelo BIM é criado a partir das ferramentas de modelagem geométrica 3D do Allplan. Criam-se separadamente cada um dos elementos que compõe a estrutura. Na sequência, atribui-se manualmente a esses elementos as características de classe do concreto, nome e dimensões importantes. Por exemplo, configura-se para um determinado pilar o material concreto C40, o nome P1 e as dimensões 20x50. Ou ainda, para uma determinada laje é atribuído o concreto C30, o nome L3 e a espessura $h = 20$.

Com o fim da criação do modelo geométrico 3D da estrutura, é necessário criar um modelo auxiliar que serve ao propósito de calcular as áreas de formas necessárias para cada tipo de elemento estrutural. Este novo modelo geométrico é desenvolvido através das ferramentas de superfícies do Allplan. Após a criação dos elementos de superfície correspondentes aos locais onde é necessária forma durante a execução, a estes são configurados os atributos de material e tipo de elemento. O material atribuído é sempre denominado “FORMA” e o tipo de elemento diz respeito ao elemento que a superfície deverá contabilizar para as áreas de forma (pilar, viga, laje, parede, entre outros). É oportuno ressaltar que estes novos modelos BIM não possuem nenhuma ligação com o modelo BIM estrutural, desenvolvido em etapas anteriores do processo. Um exemplo de modelo desenvolvido no Allplan é apresentado na Figura 28.

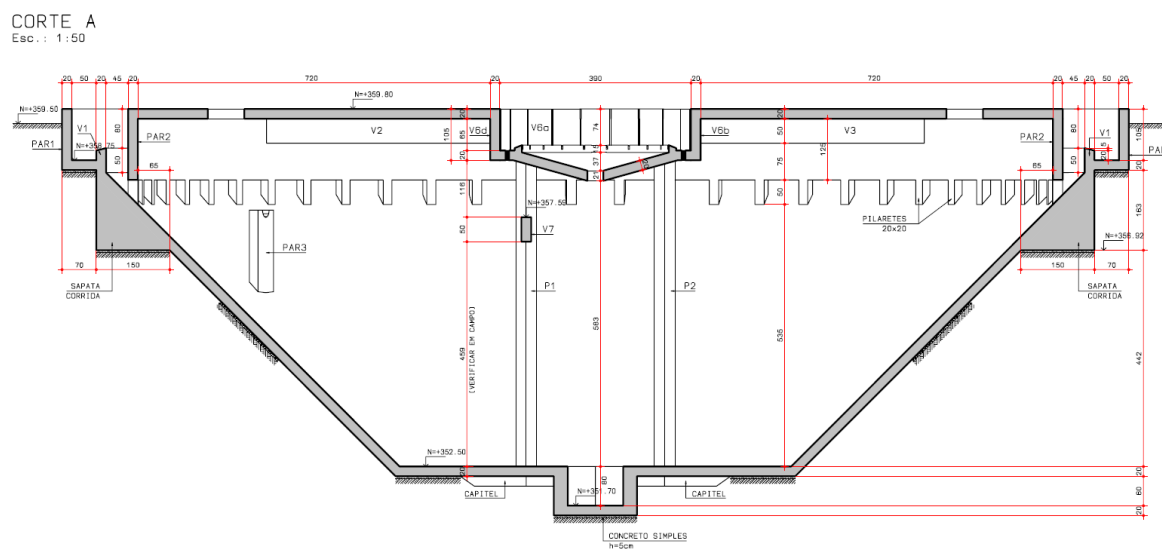
Terminado o desenvolvimento dos modelos acima citados, o projetista prossegue para a confecção dos desenhos de forma. Inicialmente criam-se cortes no modelo BIM, que automaticamente geram as vistas necessárias. São criados quantos cortes forem precisos para o perfeito entendimento da estrutura. Em seguida, os desenhos são cotados em uma determinada escala e são feitas as chamadas de cada elemento. O texto das chamadas é aquele atribuído durante a criação do modelo BIM (por exemplo, P1 20x50). Criam-se ainda, as hachuras que forem necessárias nos desenhos e, por fim, é extraída a tabela de áreas de forma, que é resultado do modelo auxiliar criado anteriormente. Pode-se observar na Figura 29, um exemplo de desenho de formas desenvolvido no Allplan.

Figura 28 - Modelo BIM de um reator anaeróbico desenvolvido no Allplan



Fonte: O autor, via *software* Allplan.

Figura 29 - Exemplo de desenho de formas desenvolvido no Allplan



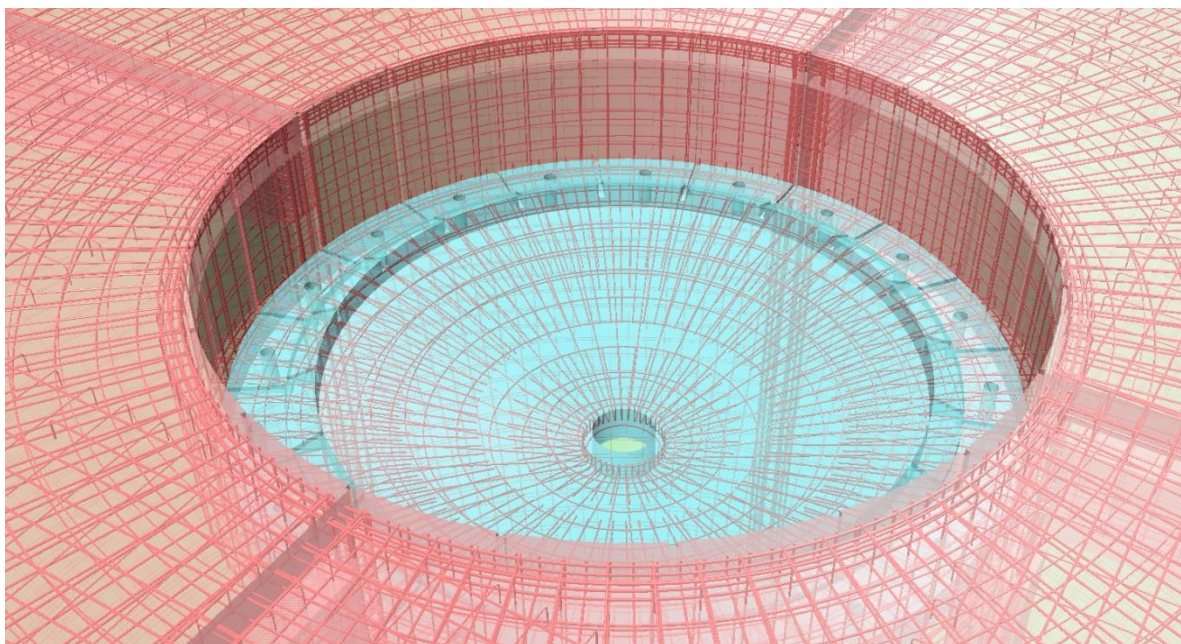
Fonte: O autor, via *software* Allplan.

Na sequência, prossegue-se à modelagem das armaduras. Para isso, é sempre necessária a criação de cortes na estrutura. Através da ferramenta apropriada para cada tipo de armadura (estribos, barras retas, barras circulares, barras variáveis, entre outros), as barras são desenhadas e distribuídas nos cortes e, automaticamente, criadas no modelo 3D. Novamente,

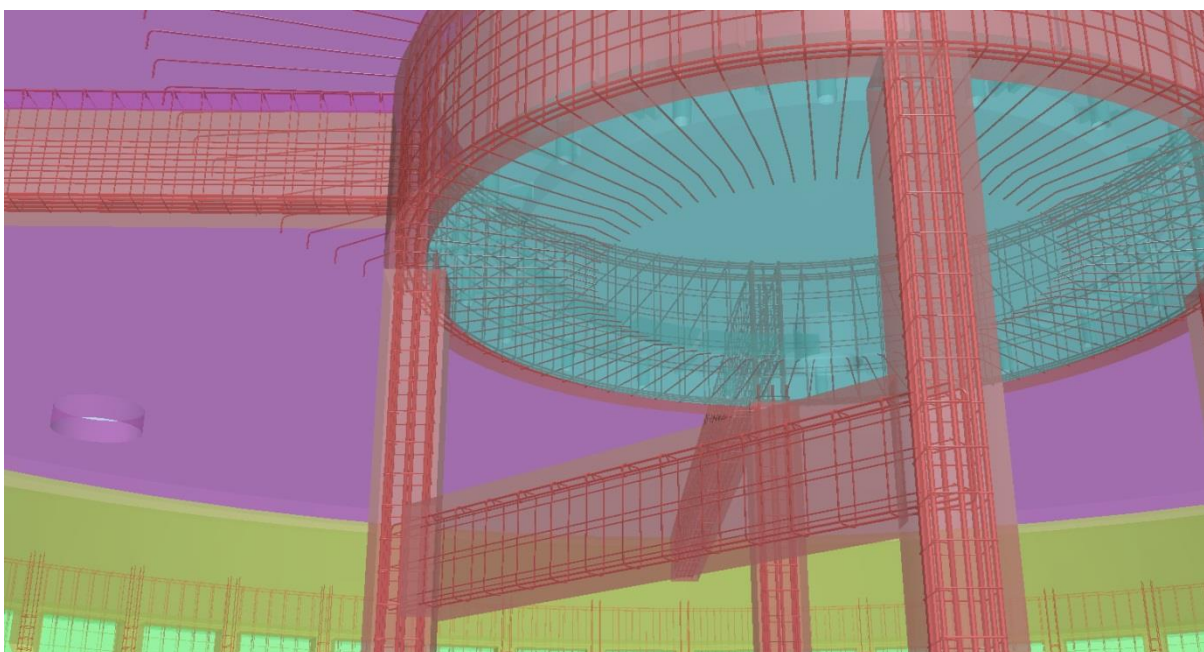
é observado o detalhamento feito pelos engenheiros no intuito de se determinarem diâmetros, espaçamentos, formatos e comprimentos dos trechos de barra. Na Figura 30 apresenta-se um exemplo de parte da modelagem de armaduras no Allplan.

Figura 30 - Modelo BIM com armaduras desenvolvido no Allplan

Lajes



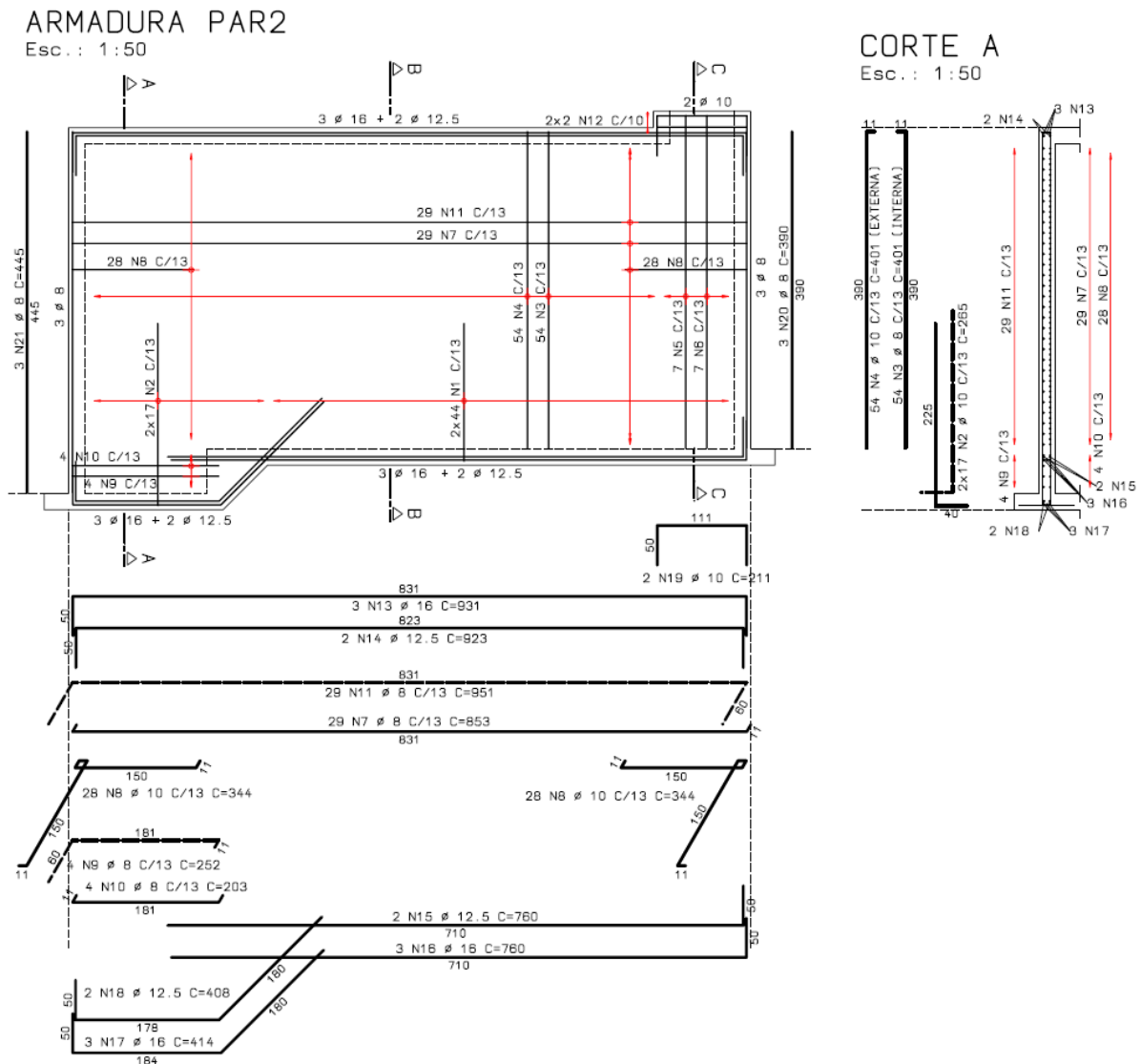
Pilares e vigas



Fonte: O autor, via *software* Allplan.

Quando todas as armaduras encontram-se plenamente modeladas, resta ainda a etapa de desenvolvimento dos desenhos destinados à execução. Para isso, utilizam-se os cortes anteriormente criados e outros mais são produzidos. Nestes cortes, deve-se estar presente o número de chamada de cada barra, a quantidade destas em cada posição do elemento, e, em alguns casos, os seus espaçamentos e diâmetros. Além destas informações, é preciso ainda uma representação esquemática de cada barra. Na representação consta o comprimento de cada trecho da barra, o comprimento total, o diâmetro e a quantidade parcial ou total de barras. Um exemplo de um trecho de um desenho de armadura de lajes encontra-se na Figura 31.

Figura 31 - Exemplo de parte de desenho de armadura desenvolvido no Allplan



Fonte: O autor, via *software* Allplan.

Tanto no Fluxo A quanto no B, sempre que os projetistas tiverem dúvidas com relação à estrutura ou ao detalhamento feito pelo engenheiro, este é consultado para esclarecimentos.

No Fluxo C, os desenhos finais de forma e armadura são feitos pelos próprios engenheiros responsáveis pelo dimensionamento da estrutura. Os engenheiros utilizam também o aplicativo Allplan. Portanto, o processo de desenvolvimento dos desenhos é o mesmo apresentado no Fluxo B. A única alteração é o responsável por este. Novamente, tanto para o Fluxo B quanto para o Fluxo C, é importante assinalar que é criado um modelo para cada estrutura, e não um modelo único para todo o empreendimento.

Quando os desenhos de forma e armadura encontram-se finalizados, os mesmos devem ser verificados. A intenção da verificação é avaliar se todas as especificações feitas em cálculo e detalhadas nos desenhos do projeto básico foram atendidas nas representações do projeto de estruturas. De tal modo, averíguam-se espessuras e seções transversais de elementos, diâmetro, espaçamento e formato de armaduras, detalhes construtivos particulares, entre outros. No caso dos fluxos A e B, a verificação é feita por um dos engenheiros do setor, normalmente aquele responsável pelo cálculo da estrutura em questão. No caso do Fluxo C, o processo de verificação recai ao Diretor 1. Se os desenhos não forem aprovados na verificação, os mesmos retornam a quem os desenvolveu, projetistas ou engenheiros, conforme o caso, para que as alterações pertinentes sejam realizadas.

Se os desenhos forem aprovados na verificação, a etapa que dá sequência é o envio dos projetos à Sanepar. Envia-se à contratante uma versão plotada e uma versão em *pdf* dos desenhos de forma e armadura. Além dos desenhos, é preciso encaminhar um documento com os resumos de volume de concreto, área de formas e armaduras. Este documento é constituído por uma planilha que é desenvolvida pela auxiliar do escritório, através dos dados que constam nas próprias pranchas do projeto. Sempre que solicitado pela Sanepar, os relatórios de cálculo também são enviados.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem o intuito de analisar e dispor apropriadamente os dados que foram coletados durante o desenvolvimento do estudo de caso.

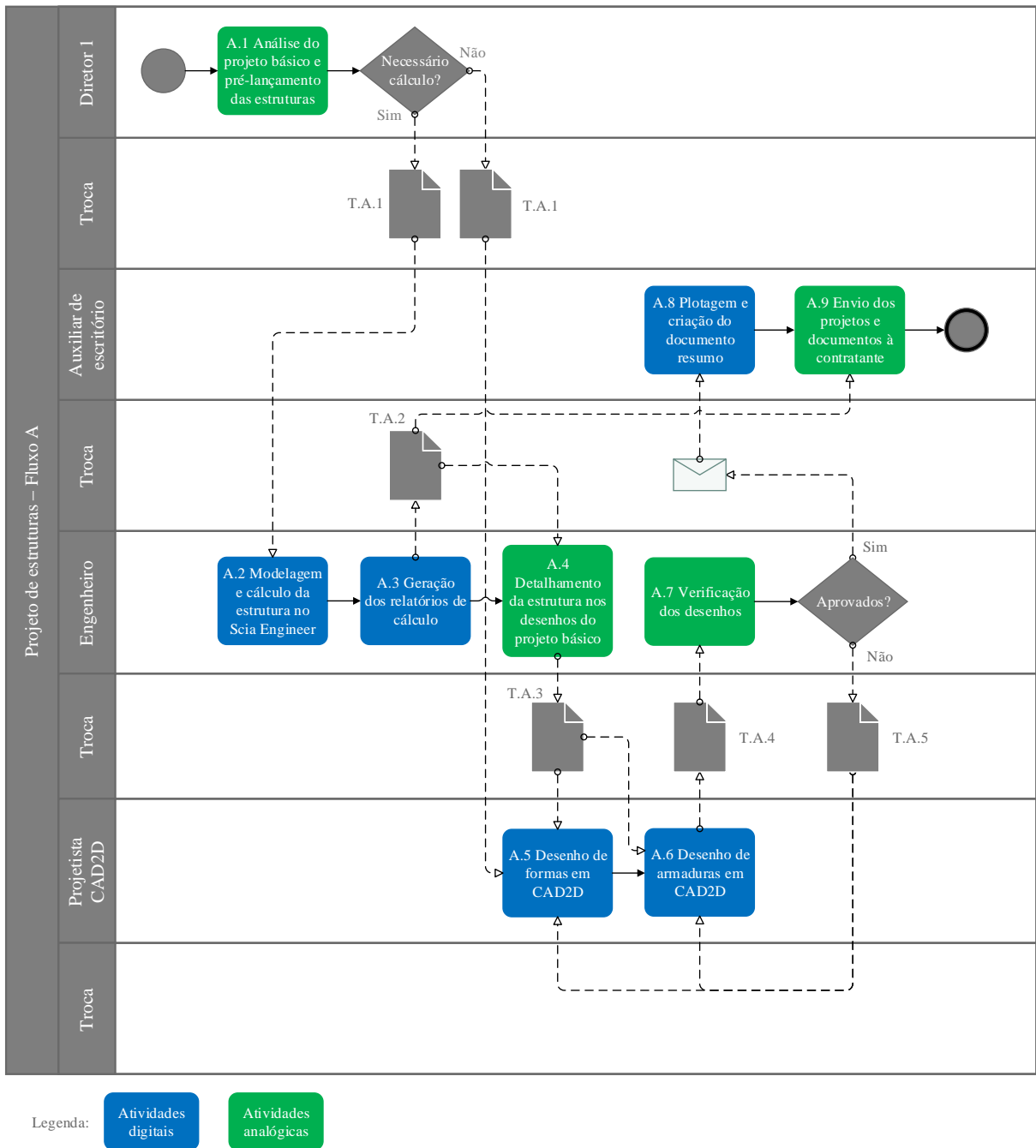
Na primeira parte do capítulo são expostos os mapas de processo, a descrição de cada atividade destes e os requisitos de informação tidos como necessários. Para a criação dos mapas de processo seguiu-se a linguagem BPMN, abordada no Capítulo 2. Destarte, utilizaram-se os elementos de raias, pistas, objetos de dados, fluxo de mensagens, fluxo de atividades e tarefas. A descrição de cada uma das atividades dos mapas foi feita com base no relato do estudo de caso, apresentado no Capítulo 4, e é disposta em quadros, de maneira semelhante ao recomendado pela BuildingSMART (2010). Os requisitos de troca, que nos mapas de processo são representados pelo símbolo de objetos de dados, encontram-se dispostos em quadros, em formato similar ao que foi proposto por Eastman *et al.* (2010) para os Modelos de Troca (Quadro 10). A criação dos mapas e dos requisitos de troca seguiu o que é proposto pela BuildingSMART (2010) na Figura 17, descobrimento de processos e mineração dos dados. Ou seja, a sequência de desenvolvimento iniciou-se nos mapas, seguindo para os requisitos de troca e o detalhamento destes. Optou-se por mapear as atividades desenvolvidas dentro da própria organização do estudo de caso. Ainda, nos mapas são diferenciadas atividades desenvolvidas analogicamente e digitalmente.

Posteriormente, são feitas algumas observações com relação aos fluxos observados na empresa. Por fim, é proposto um fluxo que visa aproveitar ao máximo os aplicativos utilizados.

5.1 FLUXO A

Como comentado anteriormente, o Fluxo A se diferencia dos demais devido ao método de desenvolvimento dos desenhos de forma e armadura (CAD 2D) e devido aos responsáveis por tais desenhos (projetistas de CAD 2D). Na Figura 32, apresenta-se o mapa de processos desenvolvido para este fluxo.

Figura 32 - Projeto de estruturas - Fluxo A



Fonte: O autor.

O Fluxo A se inicia com a análise do projeto básico e o pré-lançamento das estruturas por parte do Diretor 1. Na sequência, as pranchas do projeto básico com as informações pertinentes e demais documentos, como, por exemplo, relatórios de sondagens, (T.A.1) podem ser encaminhados para a atividade A.2 ou para a atividade A.5. Estruturas que necessitam de cálculo ou dimensionamento devem passar pela atividade A.2, Modelagem e cálculo da estrutura no Scia Engineer, desenvolvida pelos engenheiros. Estruturas que não

necessitam dessa atividade, podem seguir para o Desenho de formas em CAD 2D (atividade A.5) e Desenho de armaduras em CAD 2D (A.6), que é feito por projetistas de CAD 2D. Retomando as estruturas que necessitam de dimensionamento, após a atividade A.2, o processo segue para a atividade A.3, Geração dos relatórios de cálculo. Esses relatórios (T.A.2) são utilizados na próxima atividade do processo, a A.4, Detalhamento da estrutura nos desenhos do projeto básico, desenvolvida por engenheiros, e também podem ser enviados para a contratante, na atividade A.9. Com o fim da atividade A.4, encaminha-se aos projetistas de CAD 2D as pranchas do projeto básico com as anotações referentes ao detalhamento (T.A.3). Assim, desenvolvem-se os desenhos de forma e armadura (atividades A.5 e A.6) e estes são enviados aos engenheiros (T.A.4) para a verificação (atividade A.7). Se os desenhos forem aprovados, faz-se um simples aviso à auxiliar de escritório, e pode-se prosseguir à tarefa A.8, Plotagem e criação do documento resumo. No entanto, se não forem aprovados, os mesmos são novamente enviados aos projetistas para que as correções necessárias sejam feitas. As correções (T.A.5) podem ser de naturezas quaisquer. Com a plotagem feita e o documento resumo criado (A.8), o projeto pode então ser enviado à contratante, e o processo se encerra. As descrições de cada atividade do mapa, numeradas de A.1 a A.9, encontram-se detalhadas nos quadros seguintes.

Quadro 16 - IDM: Análise do projeto básico e pré-lançamento das estruturas

Tipo	Tarefa
Nome	Análise do projeto básico e pré-lançamento das estruturas
Identificador	A.1
Descrição	Avaliação das características de cada estrutura. Podem ser feitas anotações nos desenhos do projeto básico que precisam ser observadas nos processos de cálculo e detalhamento das estruturas. O pré-lançamento das estruturas especifica espessuras de elementos como paredes e lajes, seções transversais de vigas e pilares, tipo de fundação, entre outros. Quando conveniente, detalham-se armaduras para os elementos.

Fonte: O autor.

Quadro 17 - IDM: Modelagem e cálculo da estrutura no Scia Engineer

Tipo	Tarefa
Nome	Modelagem e cálculo da estrutura no Scia Engineer
Identificador	A.2
Descrição	De posse dos desenhos do projeto básico (T.A.1), que podem apresentar as anotações da etapa A.1, desenvolve-se o modelo BIM estrutural no aplicativo Scia Engineer. O modelo é criado a partir da combinação de vários elementos estruturais, como paredes, vigas, pilares e lajes. Ao modelo são adicionadas cargas a que a estrutura estará submetida e criam-se as combinações de cálculo. Avaliam-se os resultados obtidos e calculam-se, através do <i>software</i> e por meio de planilhas, as armaduras necessárias para cada componente estrutural

Fonte: O autor.

Quadro 18 - IDM: Geração dos relatórios de cálculo

Tipo	Tarefa
Nome	Geração dos relatórios de cálculo
Identificador	A.3
Descrição	Através do aplicativo Scia Engineer são criados os relatórios de cálculo que apresentam os dados básicos da estrutura, as tensões no solo de fundação e os principais esforços e armaduras calculadas pelo <i>software</i> para cada tipo de elemento

Fonte: O autor.

Quadro 19 - IDM: Detalhamento da estrutura nos desenhos do projeto básico

Tipo	Tarefa
Nome	Detalhamento da estrutura nos desenhos do projeto básico
Identificador	A.4
Descrição	Através dos relatórios gerados (T.A.2) na etapa A.3, detalham-se as armaduras para os elementos estruturais sobre os desenhos do projeto básico. São representados os diâmetros, espaçamentos e formatos das barras de armadura, bem como espessuras e seções transversais dos elementos estruturais

Fonte: O autor.

Quadro 20 - IDM: Desenho de formas em CAD 2D

Tipo	Tarefa
Nome	Desenho de formas em CAD 2D
Identificador	A.5
Descrição	Com base no detalhamento feito na etapa A.1 ou na etapa A.4, desenvolve-se o desenho de formas da estrutura em CAD 2D. Todas as dimensões necessárias para a execução devem ser especificadas. Para isso, são necessários diversos cortes e plantas da estrutura. É preciso ainda criar uma tabela com a quantidade de concreto e área de formas necessárias

Fonte: O autor.

Quadro 21 - IDM: Desenho de armaduras em CAD 2D

Tipo	Tarefa
Nome	Desenho de armaduras em CAD 2D
Identificador	A.6
Descrição	Com base no detalhamento feito na etapa A.1 ou na etapa A.4, desenvolve-se o desenho de armadura da estrutura em CAD 2D. Devem estar especificadas todas as barras de armadura necessárias para as estruturas, contendo diâmetros, espaçamentos e formatos. É necessário ainda a criação de uma tabela resumo de armaduras que relaciona todas as barras, seus diâmetros, quantidades, comprimentos unitários e totais, peso por diâmetro de barra, e categoria do aço utilizado

Fonte: O autor.

Quadro 22 - IDM: Verificação dos desenhos

Tipo	Tarefa
Nome	Verificação dos desenhos
Identificador	A.7
Descrição	Os desenhos gerados nas etapas A.5 e A.6 são avaliados e comparados com as especificações feitas na etapa A.1 ou A.4. Devem ser verificadas as dimensões dos elementos estruturais (seção transversal, espessuras, entre outros) bem como suas armaduras (diâmetros, espaçamentos e formatos das barras)

Fonte: O autor.

Quadro 23 - IDM: Plotagem e criação do documento resumo

Tipo	Tarefa
Nome	Plotagem e criação do documento resumo
Identificador	A.8
Descrição	Os desenhos aprovados na etapa A.7 são plotados. Gera-se ainda um documento resumo das quantidades de materiais necessárias para a obra (volume de concreto, área de formas, peso de aço para as armaduras)

Fonte: O autor.

Quadro 24 - IDM: Envio dos projetos e documentos à contratante

Tipo	Tarefa
Nome	Envio dos projetos e documentos à contratante
Identificador	A.9
Descrição	Os desenhos do projeto estrutural plotados e em formato <i>pdf</i> , assim como os documentos de interesse (resumo e relatórios de cálculo), são enviados à contratante

Fonte: O autor.

As descrições de cada requisito de troca do mapa, numerados de T.A.1 a T.A.9, encontram-se detalhadas nos quadros seguintes.

O requisito de troca T.A.1 (Quadro 25) diz respeito ao envio das informações do projeto básico, juntamente com as observações do Diretor 1 e demais documentos, para os engenheiros (estruturas que necessitam de dimensionamento estrutural) ou para os projetistas (estruturas que já podem ter sua forma e armadura desenhadas). Portanto, para os elementos estruturais como lajes, vigas, pilares e paredes, é obrigatório que estejam definidas as dimensões das peças, exceto aquelas que serão obtidas através de cálculo, como espessuras de lajes e paredes, e dimensões da seção transversal de pilares e vigas. Nesse requisito de troca é imprescindível que esteja definida a classe do concreto que será utilizada na estrutura. Para os principais elementos estruturais existentes, as entidades do padrão IFC que dão suporte são *IfcSlab*, *IfcBeam*, *IfcColumn*, *IfcWall*, *IfcFooting* e *IfcPile*, sem esquecer do *IfcMaterial*, que possibilita a definição do material da estrutura. Armaduras para os elementos podem ou não

estar definidas, variando conforme o comentado no capítulo anterior. Se elas forem estipuladas, a entidade IFC a utilizar é a `IfcReinforcingBar`. O projeto básico deve conter obrigatoriamente as informações do nível do terreno e do nível de água, no caso de estruturas que irão reservá-la. Tais dados dão suporte à definição das cargas que irão atuar nos vários componentes. Para o nível do terreno pode-se utilizar o `IfcBuilding.ElevationOfTerrain`; todavia, para o nível de água não foi encontrada uma entidade apropriada. Com relação às informações de sondagem, os principais dados são a resistência SPT de cada camada do solo, o tipo de solo por camada e a presença ou não de lençol freático (nível de água) no próprio terreno. Os dados de resistência dão suporte à decisão de que tipo de fundação será utilizada. A informação do tipo de solo permite aferir um coeficiente de reação vertical do solo, que consta no requisito de troca dos relatórios de cálculo. O nível de água do terreno, conduz à consideração ou não do carregamento de subpressão nas estruturas. Para essas informações, não foram encontradas entidades IFC adequadas.

As informações que o requisito de troca T.A.2 deve suprir encontram-se detalhadas no Quadro 26. O requisito se relaciona com a criação dos relatórios de cálculo através do Scia Engineer. Os relatórios devem conter uma representação do modelo de cálculo utilizado, que é suportada pelo `IfcStructuralAnalysisModel`. É preciso ainda constar todas as cargas que foram aplicadas no modelo BIM estrutural. Algumas cargas que constam no requisito T.A.2, de acordo com a estrutura, podem não existir – assim, são opcionais. Para dar suporte às cargas pode-se utilizar as entidades `IfcStructuralAction` e `IfcStructuralSurfaceAction`. As combinações de cálculo utilizadas devem ser citadas no relatório, e são suportadas pela entidade `IfcStructuralLoadGroup`. É necessário ainda que especifique-se o coeficiente de reação vertical utilizado para o solo. Como este é uma condição de contorno do modelo de cálculo (um apoio) utiliza-se a entidade `IfcStructuralConnection`. As demais informações que o requisito deve atender passam a tratar dos resultados provenientes do modelo. As tensões distribuídas no solo de fundação (`IfcStructuralSurfaceReaction`) são dados obrigatórios, bem como os momentos fletores e forças cortantes que atuam em cada elemento estrutural. Dados referentes à torção são opcionais, pois ela nem sempre tem magnitude significativa. Os esforços internos, em geral, são suportados pelas entidades `IfcStructuralReaction` e `IfcStructuralSurfaceReaction`. Por fim, a última informação necessária diz respeito à armadura calculada pelo Scia Engineer, obtida na entidade `IfcStructuralResultGroup`.

O requisito de troca T.A.3 (Quadro 27) é consideravelmente semelhante ao requisito T.A.1. Ele trata da informação que será passada do engenheiro para o projetista no intuito de serem gerados os desenhos de forma e armadura. Substancialmente, a única diferença

importante é a definição de algumas informações que no requisito T.A.1 eram opcionais, mas no T.A.3 deverão ser obrigatórias. Entre elas, pode-se citar as dimensões dos elementos estruturais (espessuras e seções transversais) e os dados de diâmetro, espaçamento, formato, categoria do aço, cobrimento e comprimento dos trechos das barras de armadura. Com relação ao comprimento dos trechos das barras de armadura, em alguns casos é necessário que esta informação esteja especificada, e em outros não.

Quadro 25 - IDM: Requisito de troca T.A.1

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.A.1			
Descrição	Requisito de troca que contém as informações do projeto básico e as possíveis observações do Diretor 1. Tais dados dão suporte ao dimensionamento da estrutura, por parte dos engenheiros, ou guiam a execução dos desenhos de forma e armadura			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Laje	Espessura	OP	A espessura da laje será confirmada no dimensionamento estrutural	IfcSlab
	Dimensões	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Viga	Seção transversal	OP	As dimensões da seção transversal serão confirmadas no dimensionamento estrutural	IfcBeam
	Comprimento	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Pilar	Seção transversal	OP	As dimensões da seção transversal serão confirmadas no dimensionamento estrutural	IfcColumn
	Comprimento	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Parede	Espessura	OP	A espessura da parede será confirmada no dimensionamento estrutural	IfcWall
	Dimensões	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Armadura	Diâmetro	OP	O detalhamento de armaduras neste requisito de troca é opcional	IfcReinforcing Bar
	Espaçamento	OP		
	Formato	OP		
	Categoria do aço	OP		
	Comprimento dos trechos das barras	OP		
	Cobrimento	OP		
Fundações	Espessura	OP	Espessuras, dimensões e nível da fundação devem ser confirmados no dimensionamento	IfcFooting IfcPile IfcMaterial
	Dimensões	OP		
	Nível	OP		
	Classe do concreto	O		
Nível de água	Nível de água interno	OP	Pode ou não existir	Não foi encontrado
Nível do terreno	Nível	O	Dá suporte à determinação das cargas na estrutura	IfcBuilding. ElevationOf Terrain
Solo	Resistência SPT	O	O nível de água do lençol freático pode ou não existir	Não foi encontrado
	Tipo de solo	O		
	Nível de água	OP		

Fonte: O autor.

Quadro 26 - IDM: Requisito de troca T.A.2

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.A.2			
Descrição	Requisito de troca que contém as informações da modelagem e do dimensionamento estrutural desenvolvidos pelo aplicativo Scia Engineer e que irão compor os relatórios de cálculo			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Modelo	Modelo BIM estrutural	O	Representação do modelo estrutural adotado	IfcStructural AnalysisModel
Cargas	Peso próprio	O	As cargas de empuxo de água, empuxo de solo, subpressão e de monovias ou guindastes podem ou não ocorrer, dependendo da estrutura em questão	IfcStructural Action
	Sobrecarga permanente	O		
	Sobrecarga variável	O		
	Empuxo de água	OP		IfcStructural SurfaceAction
	Empuxo de solo	OP		
	Subpressão	OP		
	Monovias, guindastes, etc.	OP		
Combinações	Combinações de cálculo	O	Combinações das cargas utilizadas no dimensionamento	IfcStructural LoadGroup
Solo	Coefficiente de reação vertical	O	O coeficiente de reação vertical diz respeito aos apoios considerados para a estrutura	IfcStructural Connection
	Tensões no solo de fundação	O		IfcStructural Surface Reaction
Esforços	Momento fletor	O	Esforços internos atuantes em vigas, pilares, lajes e paredes	IfcStructural Reaction
	Esforço cortante	O		
	Esforço normal	O		IfcStructural Surface Reaction
	Torção	OP		
Armadura	Área de aço calculada	O	Armadura calculada para cada elemento estrutural pelo Scia Engineer	IfcStructural ResultGroup

Fonte: O autor.

Na sequência, o Requisito de Troca T.A.4, apresentado no Quadro 28, se ocupa de todas as informações que os desenhos de forma e armadura devem conter. Em última instância, são essas as informações que vão para a obra. Portanto, todos os dados necessários para a boa execução devem estar presentes. Novamente, este requisito se assemelha com outros já utilizados (T.A.1 e T.A.3). Algumas informações, no entanto, são novas. É indispensável dar suporte aos dados de volume de concreto e área de formas necessária para a execução de cada elemento. Ainda, neste requisito de troca, todos os comprimentos dos trechos das barras de armadura devem estar especificados, visto que os mesmos precisam ser

executados em obra. Para cada elemento estrutural e para cada barra de armadura diferente é necessário ainda um identificador.

Quadro 27 - IDM: Requisito de troca T.A.3

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.A.3			
Descrição	Requisito de troca que contém as informações do projeto básico e as observações dos engenheiros. Tais dados dão suporte à execução dos desenhos de forma e armadura, por parte dos projetistas			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Laje	Espessura	O		IfcSlab
	Dimensões	O		
	Nível	O		IfcMaterial
	Classe do concreto	O		
Viga	Seção transversal	O		IfcBeam
	Comprimento	O		
	Nível	O		IfcMaterial
	Classe do concreto	O		
Pilar	Seção transversal	O		IfcColumn
	Comprimento	O		
	Nível	O		IfcMaterial
	Classe do concreto	O		
Parede	Espessura	O		IfcWall
	Dimensões	O		
	Nível	O		IfcMaterial
	Classe do concreto	O		
Armadura	Diâmetro	O	Quando conveniente, alguns comprimentos dos trechos das barras são informados. Todavia, outros não são necessários	IfcReinforcing Bar
	Espaçamento	O		
	Formato	O		
	Categoria do aço	O		
	Comprimento dos trechos das barras	OP		
	Cobrimento	O		
Fundações	Espessura	O		IfcFooting IfcPile IfcMaterial
	Dimensões	O		
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Nível de água	Nível	OP	Pode ou não existir	-
Nível do terreno	Nível	O		IfcBuilding. ElevationOf Terrain

Fonte: O autor.

Quando alterações nos desenhos de forma ou armadura são necessárias, o requisito de troca T.A.5 (Quadro 29) é utilizado. As possíveis alterações são detectadas pelos engenheiros que fazem a verificação dos desenhos. Logo, qualquer dado que consta no desenho pode ou não ter a necessidade de ser modificado. Desta forma, este requisito de troca é idêntico ao T.A.4, com exceção de que agora, todas as informações são opcionais, isto é, podem ou não ser transmitidas.

Quadro 28 - IDM: Requisito de troca T.A.4

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.A.4			
Descrição	Requisito de troca que contém as todas as informações dos desenhos de forma e armadura. Deve suprir todas as necessidades de informação que podem ocorrer em obra			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Laje	Identificador	O		IfcSlab IfcMaterial
	Espessura	O		
	Dimensões	O		
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
	Volume de concreto	O		
	Área de formas	O		
Viga	Identificador	O		IfcBeam IfcMaterial
	Seção transversal	O		
	Comprimento	O		
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
	Volume de concreto	O		
	Área de formas	O		
Pilar	Identificador	O		IfcColumn IfcMaterial
	Seção transversal	O		
	Comprimento	O		
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
	Volume de concreto	O		
	Área de formas	O		
Parede	Identificador	O		IfcWall IfcMaterial
	Espessura	O		
	Dimensões	O		
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
	Volume de concreto	O		
	Área de formas	O		
Armadura	Identificador	O		IfcReinforcing Bar
	Diâmetro	O		
	Espaçamento	O		
	Formato	O		
	Categoria do aço	O		
	Comprimento dos trechos das barras	O		
	Cobrimento	O		
	Peso total de armadura	O		
Fundações	Identificador	O		IfcFooting IfcPile IfcMaterial
	Espessura	O		
	Dimensões	O		
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
	Volume de concreto	O		
	Área de formas	O		
Nível de água	Nível	OP	Pode ou não existir	-
Nível do terreno	Nível	O		IfcBuilding. ElevationOf Terrain

Fonte: O autor.

Quadro 29 - IDM: Requisito de troca T.A.5

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.A.5			
Descrição	Requisito de troca que contém as informações que devem ser alteradas no projeto, com base na verificação dos desenhos de forma e armadura por parte dos engenheiros			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Laje	Identificador	OP		IfcSlab IfcMaterial
	Espessura	OP		
	Dimensões	OP		
	Nível	OP		
	Classe do concreto	OP		
	Volume de concreto	OP		
	Área de formas	OP		
Viga	Identificador	OP		IfcBeam IfcMaterial
	Seção transversal	OP		
	Comprimento	OP		
	Nível	OP		
	Classe do concreto	OP		
	Volume de concreto	OP		
	Área de formas	OP		
Pilar	Identificador	OP		IfcColumn IfcMaterial
	Seção transversal	OP		
	Comprimento	OP		
	Nível	OP		
	Classe do concreto	OP		
	Volume de concreto	OP		
	Área de formas	OP		
Parede	Identificador	OP		IfcWall IfcMaterial
	Espessura	OP		
	Dimensões	OP		
	Nível	OP		
	Classe do concreto	OP		
	Volume de concreto	OP		
	Área de formas	OP		
Armadura	Identificador	OP		IfcReinforcing Bar
	Diâmetro	OP		
	Espaçamento	OP		
	Formato	OP		
	Categoria do aço	OP		
	Comprimento dos trechos das barras	OP		
	Cobrimento	OP		
Fundações	Identificador	OP		IfcFooting IfcPile IfcMaterial
	Espessura	OP		
	Dimensões	OP		
	Nível	OP		
	Classe do concreto	OP		
	Volume de concreto	OP		
	Área de formas	OP		
Nível de água	Nível	OP	Pode ou não existir	-
Nível do terreno	Nível	OP		IfcBuilding. ElevationOf Terrain

Fonte: O autor.

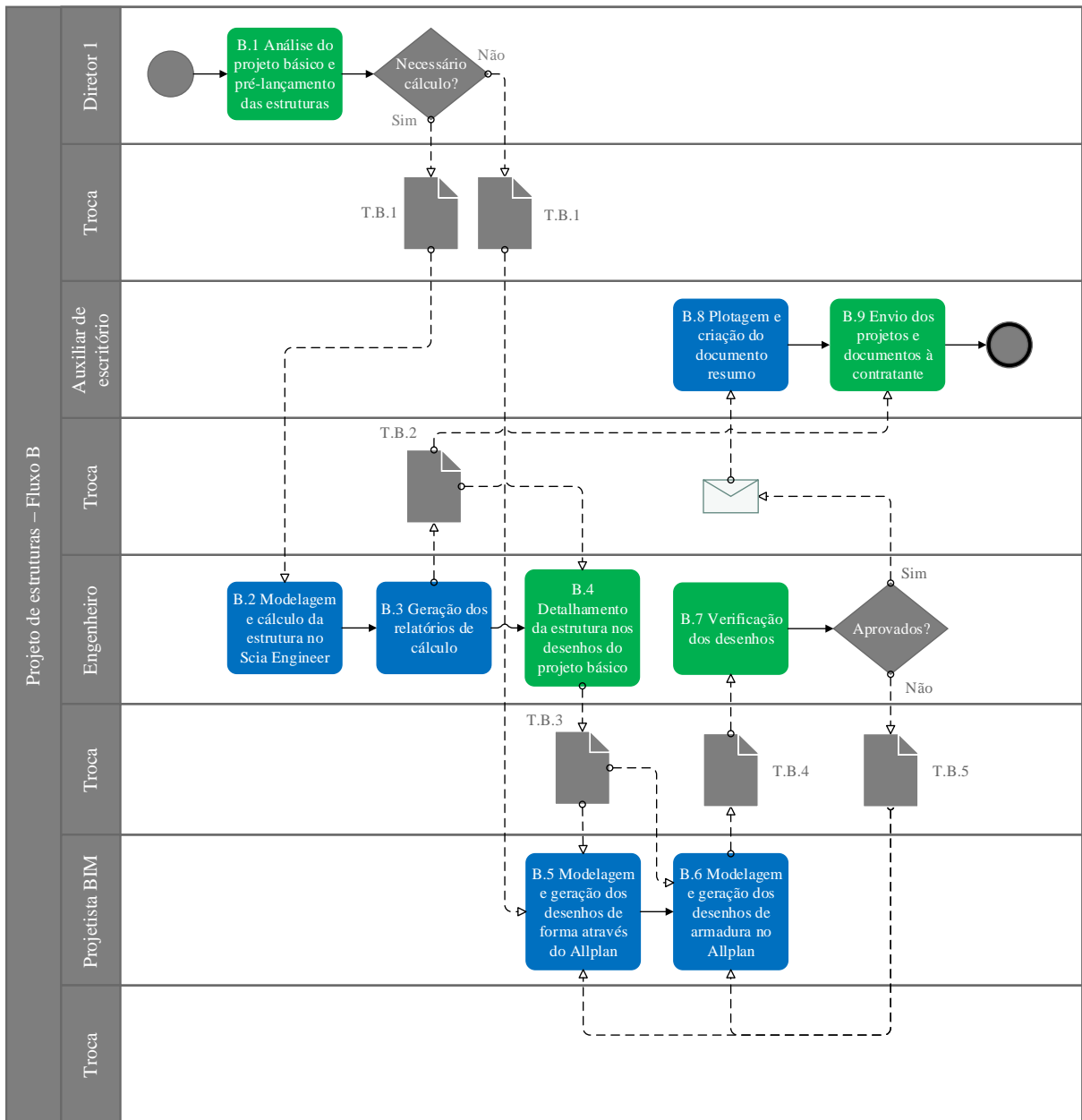
5.2 FLUXO B

O Fluxo B se diferencia dos demais devido ao método de desenvolvimento dos desenhos de forma e armadura (BIM, através do Allplan) e devido ao responsável por tais desenhos (projetista BIM Allplan). Na Figura 33, apresenta-se o mapa de processos desenvolvido. O número de pistas é o mesmo do Fluxo A, porém alteram-se os agentes.

O mapa se inicia com a análise do projeto básico e o pré-lançamento das estruturas por parte do Diretor 1. Quando as estruturas necessitam de cálculo estrutural, a tarefa seguinte é a B.2, caso contrário parte-se para B.5. A atividade B.2 envolve a modelagem e o cálculo da estrutura no Scia Engineer. Com a conclusão desta atividade, são gerados os relatórios de cálculo na tarefa B.3. O detalhamento da estrutura nos desenhos do projeto básico é a próxima etapa desenvolvida pelos engenheiros. Na sequência, desenvolve-se a modelagem da estrutura em BIM através do aplicativo Allplan e criam-se os desenhos de forma (B.5) e armaduras (B.6). O responsável por esta etapa é um projetista BIM. Com os desenhos finalizados, os engenheiros os recebem para verificação (B.7). Caso sejam necessárias mudanças, é imprescindível retornar às atividades B.5 ou B.6. No momento em que alterações não são mais necessárias, a auxiliar de escritório recebe um aviso por parte dos engenheiros. Então é procedida a plotagem dos desenhos e a criação do documento resumo (B.8). Por fim, enviam-se ambos para a contratante.

Diversas atividades do mapa de processos são idênticas às atividades do mapa para o Fluxo A. Assim, a descrição das tarefas B.1, B.2, B.3, B.4, B.7, B.8 e B.9 é a mesma das tarefas A.1, A.2, A.3, A.4, A.7, A.8 e A.9, respectivamente. As atividades B.5 e B.6, que se diferenciam das demais, são descritas no Quadro 30 e no Quadro 31.

Figura 33 - Projeto de estruturas - Fluxo B



Legenda: Atividades digitais Atividades analógicas

Fonte: O autor.

Quadro 30 - IDM: Modelagem e geração dos desenhos de forma através do Allplan

Tipo	Tarefa
Nome	Modelagem e geração dos desenhos de forma através do Allplan
Identificador	B.5
Descrição	Com base no detalhamento feito na etapa B.1 ou na etapa B.4, através do aplicativo Allplan, modela-se a geometria da estrutura. Na sequência, desenvolve-se o desenho de formas, utilizando o modelo previamente criado. Todas as dimensões necessárias para a execução devem ser especificadas. Para isso, são necessários diversos cortes e plantas da estrutura. É preciso ainda criar uma tabela com a quantidade de concreto e área de formas necessária

Fonte: O autor.

Quadro 31 - IDM: Modelagem e geração dos desenhos de armadura no Allplan

Tipo	Tarefa
Nome	Modelagem e geração dos desenhos de armadura no Allplan
Identificador	B.6
Descrição	Com base no detalhamento feito na etapa B.1 ou na etapa B.4, no modelo BIM desenvolvido na tarefa B.5, modelam-se as armaduras que irão compor cada elemento estrutural. Na sequência, a partir do modelo com as barras de aço já inseridas, criam-se os desenhos de armadura para cada componente. Devem estar especificadas todas as barras de armadura necessárias para as estruturas, constando diâmetros, espaçamentos e formatos. É necessário ainda a criação de uma tabela resumo de armaduras que relaciona todas as barras, seus diâmetros, quantidades, comprimentos unitários e totais, peso por diâmetro de barra, e categoria do aço utilizado

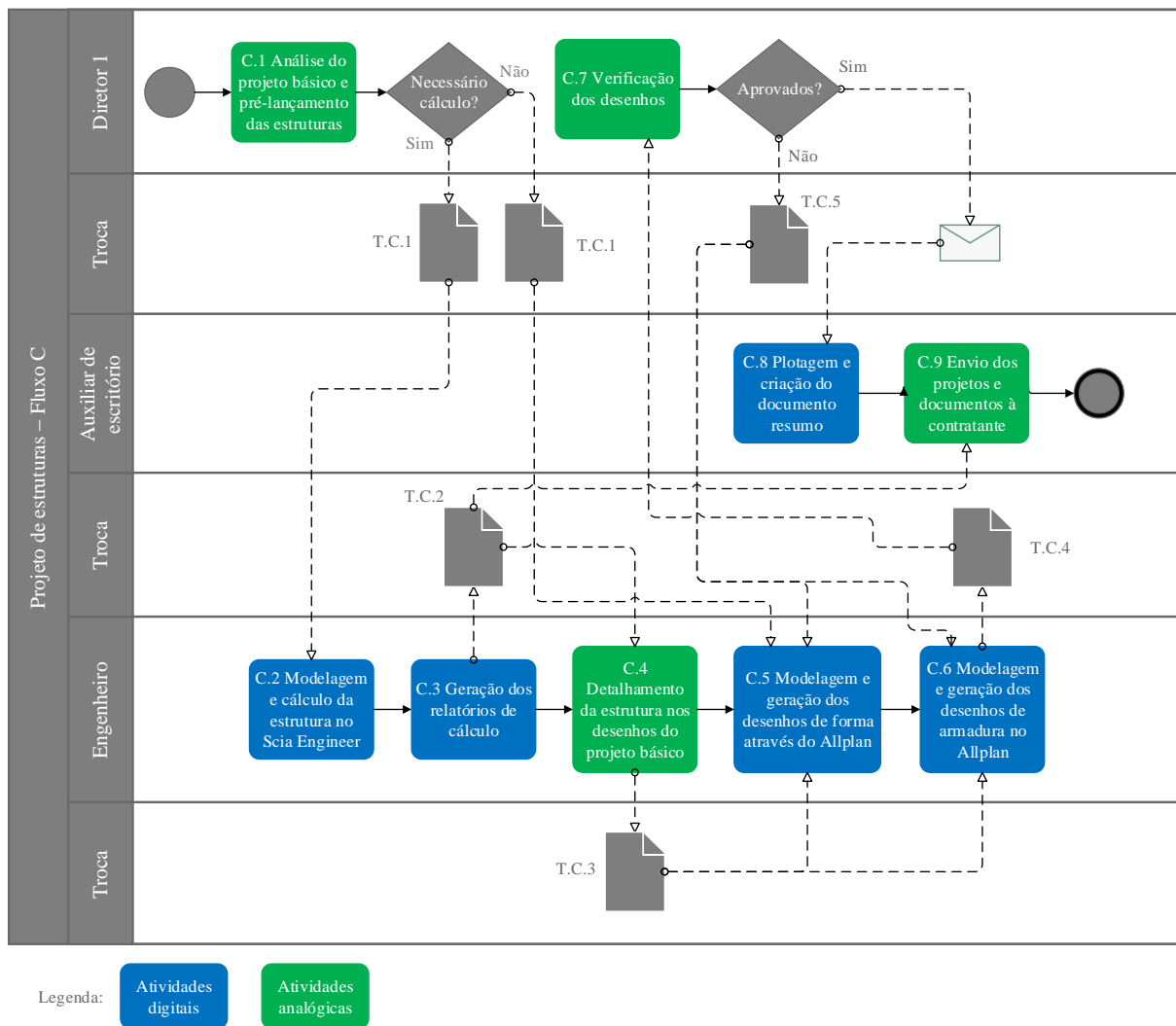
Fonte: O autor.

Em essência, o que foi mudado entre os fluxos A e B foi a plataforma de desenvolvimento dos desenhos. Entretanto, as necessidades de informação dos intervenientes do processo continuam as mesmas, visto que o produto final do processo – o projeto de uma estrutura de concreto – é o mesmo. Deste modo, todos os requisitos de troca do Fluxo B são equivalentes aos do Fluxo A.

5.3 FLUXO C

O Fluxo C se diferencia devido ao método de desenvolvimento dos desenhos de forma e armadura (BIM, através do Allplan) e devido ao responsável por tais desenhos (os próprios engenheiros). Na Figura 34, apresenta-se o mapa de processos desenvolvido. Percebe-se que o número de pistas é reduzido em comparação aos fluxos anteriores.

Figura 34 - Projeto de estruturas - Fluxo C



Fonte: O autor.

O mapa de processos é iniciado com a análise do projeto básico e o pré-lançamento das estruturas (atividade C.1) por parte do Diretor 1. Na sequência, se a estrutura necessita de dimensionamento parte-se para a atividade C.2. Se a estrutura prescinde de dimensionamento, a tarefa C.4 pode ser iniciada. A atividade C.2 trata da modelagem e do cálculo da estrutura no aplicativo Scia Engineer. Com esta finalizada, a tarefa que dá sequência ao processo é a C.3, geração dos relatórios de cálculo. A partir dos relatórios gerados pode-se executar a atividade C.4, Detalhamento da estrutura nos desenhos do projeto básico. Em seguida, é feita a modelagem da estrutura em BIM e, posteriormente, a geração dos desenhos de forma através do Allplan (C.5). Prosseguindo, pode-se gerar as barras de aço no modelo BIM e desenvolver os desenhos de armadura na tarefa C.6. As atividades C.2 à C.6 são todas feitas inteiramente por engenheiros. Com a conclusão dos desenhos de forma e armadura, estes podem ser verificados pelo Diretor 1 (C.7). Se existem alterações que precisam ser feitas,

estas são especificadas para o engenheiro no requisito de troca T.C.5. Caso não sejam necessárias mudanças, uma mensagem é enviada à auxiliar de escritório, que efetua a plotagem dos desenhos e cria o documento resumo (C.8). Por fim, os desenhos plotados e os documentos são encaminhados à contratante.

Novamente, os requisitos de troca deste fluxo são equivalentes aos apresentados para o Fluxo A e para o Fluxo B.

5.4 OBSERVAÇÕES A RESPEITO DOS FLUXOS

Esta seção procura analisar os fluxos observados no estudo de caso, tendo em vista propor um novo fluxo que otimize o projeto de estruturas de concreto para obras de saneamento através de sistemas BIM.

A primeira observação a ser feita é que a simples utilização de aplicativos BIM não faz com que o processo de projeto seja condizente com o que propõe a modelagem da informação da construção. Ainda que o uso de sistemas BIM possa facilitar e agilizar algumas atividades particulares, o total proveito dessa tecnologia só será obtido quando todos os envolvidos no processo trabalharem de forma integrada.

Isso pode ser percebido no início dos três fluxos aqui apresentados. O projeto básico de engenharia é sempre recebido em formato CAD 2D. Tal fato, como pode-se imaginar, traz consigo todas as deficiências relacionadas à essa metodologia. Em se tratando do projeto estrutural, as principais dificuldades decorrentes de um projeto básico desta sorte são as omissões, insuficiências e conflitos de informações geométricas e físicas (especificações de materiais, entre outros). Ademais, um projeto básico em CAD 2D faz com que todas as atividades subsequentes devam passar pelos processos de abstração dos desenhos e “criação mental” da estrutura.

A forma como a informação é passada do Diretor 1 para os engenheiros ou para os projetistas, assim como a maneira que o detalhamento da estrutura é transmitido do engenheiro para os projetistas, também merece destaque. Anotações e desenhos sobre as folhas do projeto básico podem demandar um longo período de tempo, dependendo do porte da estrutura. Além disso, o conteúdo das anotações e dos desenhos de detalhamento torna-se fragmentado. Tal conteúdo poderia ser devidamente disponibilizado em formato digital se, por exemplo, nessa etapa já existisse um modelo BIM para representar a estrutura.

Percebe-se na descrição do estudo de caso e nos fluxos B e C que ao longo do processo são criados dois modelos BIM: um no Scia Engineer, com intuito de análise estrutural, e outro no Allplan, com intuito de geração dos desenhos de forma e armadura. Estes dois modelos são criados independentemente. Apesar de ser possível, não há uma ligação entre eles. Como relatado, nota-se que o modelo BIM estrutural (criado no Scia) é dotado de certas características próprias, que servem única e exclusivamente para a análise estrutural. Similarmente, o modelo BIM desenvolvido no Allplan, que visa a criação dos desenhos de forma e armadura, também possui atributos próprios.

É plausível, no entanto, fazer com que esses dois modelos tenham um certo relacionamento. Durante o estudo de caso foram feitos testes de interação entre os dois aplicativos e foram atinadas duas possibilidades.

A primeira é criar um modelo BIM estrutural no Scia Engineer e, após o cálculo e análise, levá-lo ao Allplan através do formato IFC. A maior dificuldade percebida foram as diferenças que existem entre o modelo que serve à análise estrutural e o que serve aos desenhos de forma e armadura. Detalhes imprescindíveis para o modelo BIM podem não ser necessários no modelo BIM estrutural. Deste modo, diversas alterações são necessárias após o modelo ter sido transferido de um aplicativo para o outro. Frequentemente, o esforço necessário para executar estas alterações é maior do que o que seria preciso para recriar o modelo BIM no Allplan a partir do zero. Do ponto de vista teórico, é possível também intercambiar dados relacionados ao dimensionamento da estrutura, como área de armadura necessária. Todavia, na prática isso não foi possível devido ao desempenho inadequado dos sistemas.

Uma segunda hipótese estudada seria criar o modelo BIM no Allplan, exportá-lo em formato IFC e importá-lo no Scia Engineer para a análise estrutural. Após a análise estrutural, o processo retornaria ao Allplan para os detalhamentos necessários. Novamente, as diferenças entre os dois modelos demonstram ser o maior empecilho. Uma vez dentro do Scia Engineer, diversas mudanças são necessárias para que o modelo traduza fielmente o comportamento real da estrutura. Grande parte dessas alterações diz respeito ao que é retratado na Figura 25, os eixos e planos segundo os quais o modelo será discretizado e posteriormente calculado. Apesar de o Scia Engineer dispor de ferramentas próprias para adaptações do modelo, ferramentas essas que permitem o alinhamento de elementos e a escolha dos eixos e planos de cálculo, mais uma vez, o esforço gasto no processo pode ser maior que o que seria dispendido para recriar o modelo do início.

A geração dos relatórios de cálculo é uma atividade que merece destaque devido à sua eficiência. O fato de o modelo BIM estrutural estar totalmente ligado aos relatórios faz com que mudanças naquele sejam automaticamente refletidas nestes.

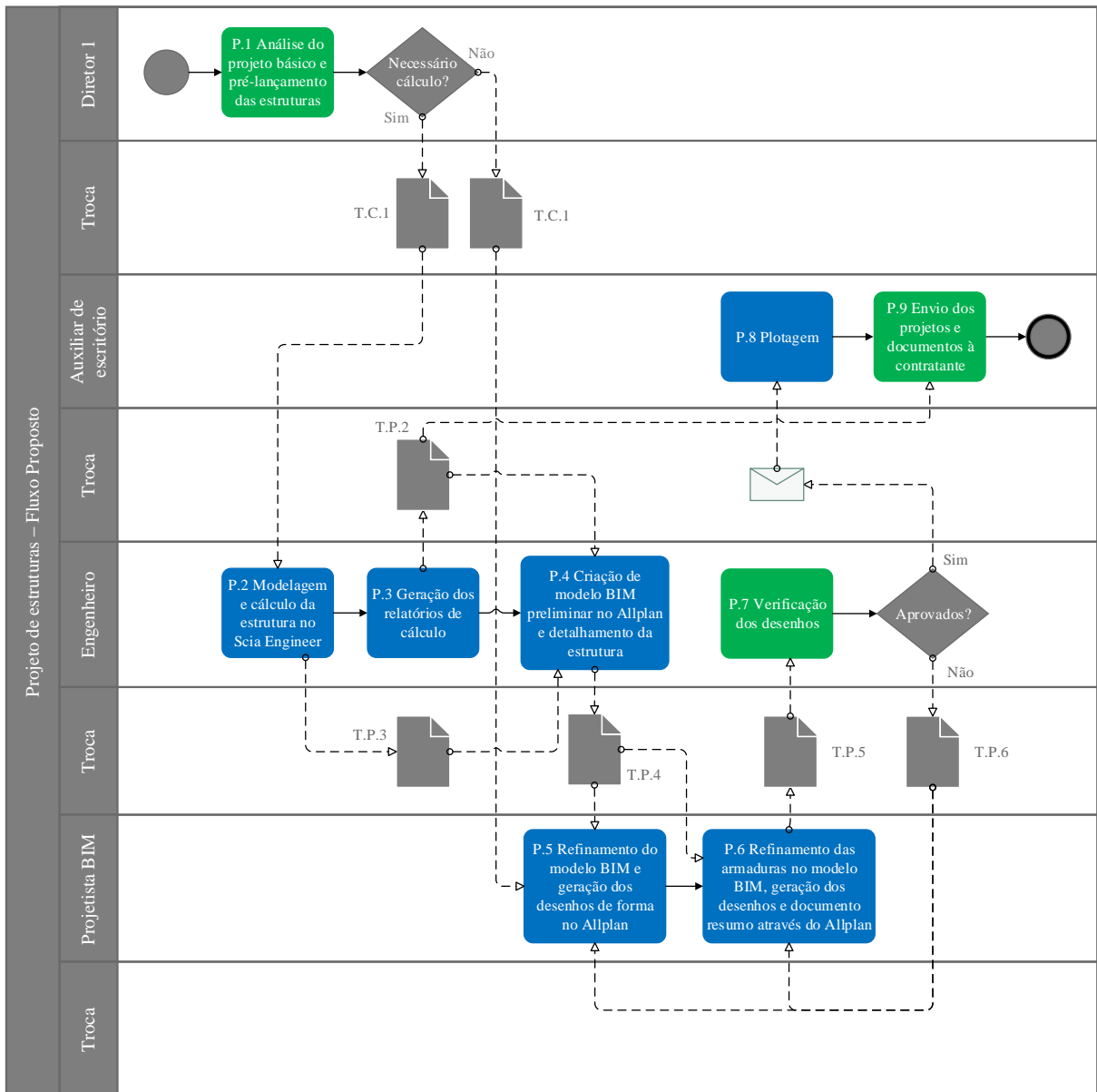
Devido ao fato de as estruturas serem modeladas uma a uma, não se tem uma visão global do empreendimento do ponto de vista do projeto estrutural. Isso é percebido na criação do documento resumo pela auxiliar de escritório. Neste documento, são apresentados os resumos de volume de concreto, área de formas e peso de armaduras para toda a obra. Estes dados são obtidos pela auxiliar através da observação dos desenhos de forma e armadura criados pelos projetistas ou pelos engenheiros. Se, por outro lado, existisse um modelo único para todo o empreendimento, compreendendo cada uma das estruturas, as informações necessárias para o documento resumo seriam obtidas automaticamente.

Pode-se notar, ainda, através dos fluxos B e C, que os modelos BIM criados são utilizados apenas para o desempenho de algumas atividades específicas dentro da própria empresa. Tais modelos não são compartilhados com os demais envolvidos no empreendimento, como a contratante (Sanepar), o construtor, o responsável pelo projeto básico, etc. Destarte, o modelo BIM desenvolvido no Allplan, por exemplo, tem a simples função de gerar os desenhos de forma e armadura, e não criar uma representação digital da obra real, como propõe a modelagem da informação da construção.

5.5 FLUXO PROPOSTO

Com base no estudo de caso, este capítulo tem a intenção de propor um fluxo que otimizaria o processo de projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento. Este é apresentado na Figura 35.

Figura 35 - Projeto de estruturas - Fluxo proposto



Legenda: Atividades digitais Atividades analógicas

Fonte: O autor.

A atividade que dá início ao Fluxo Proposto é a P.1, análise do projeto básico e pré-lançamento das estruturas, similar às atividades A.1, B.1 e C.1, apresentadas anteriormente. Esta atividade, desenvolvida pelo Diretor 1, foi mantida no fluxo proposto pois ela visa encaminhar os projetos básicos para os engenheiros ou enviar os projetos básicos com anotações de detalhamento para os projetistas BIM (T.P.1). Neste caso, em geral, trata-se de uma estrutura de pequeno porte, o que não justificaria a criação de um modelo BIM estrutural por parte dos engenheiros. A segunda atividade do fluxo é o desenvolvimento de um modelo

BIM estrutural e cálculo da estrutura no Scia Engineer. Esta atividade é idêntica às atividades A.2, B.2 e C.2. De forma semelhante, a atividade seguinte, geração dos relatórios de cálculo, é similar às tarefas A.3, B.3 e C.3, apresentadas nos fluxos anteriores. A tarefa que dá sequência ao fluxo é a P.4, criação do modelo BIM preliminar no Allplan e detalhamento da estrutura. Esta atividade é descrita no Quadro 32, e visa a criação de um modelo BIM a partir do modelo estrutural, desenvolvido no Scia Engineer. Para isso, o requisito de troca T.P.3 constitui-se na exportação, através do formato IFC, do modelo desenvolvido na tarefa P.2. Uma vez no Allplan, o engenheiro desenvolveria o detalhamento da estrutura, com suas devidas espessuras e seções transversais, incluindo a modelagem das armaduras principais, tarefa que antes era feita na forma de desenhos sobre o projeto básico. Deste modo, a informação não se torna fragmentada, mas mantém-se intrínseca ao modelo, além de ser uma forma mais ágil de trabalhar. Apesar de apresentar deficiências, a transferência do modelo estrutural para o Allplan é uma forma rápida de gerar uma referência básica para o detalhamento da estrutura. Prosseguindo, o projetista BIM receberia este mesmo modelo para fazer os refinamentos necessários, englobando todos os detalhes que não são de interesse para o modelo BIM estrutural, mas que demonstram-se necessários nesta etapa. Além do refinamento, o projetista faria a geração dos desenhos de forma da estrutura. Ainda, seriam criados os desenhos de armadura, partindo das que foram modeladas pelos engenheiros na atividade P.4, e mesmo criando outras mais. Com o fluxo apresentado, tanto o engenheiro quanto o projetista estariam desempenhando atividades importantes, cada um condizente com sua respectiva função, otimizando os recursos do escritório. O engenheiro preocupa-se com as atividades relacionadas ao cálculo e detalhamento da estrutura segundo as normas técnicas vigentes, e mantém essas informações dentro do modelo BIM, ao contrário do que era feito anteriormente, quando a informação acabava em meio físico (pranchas do projeto). O projetista, por sua vez, concentra-se nas tarefas que visam a geração de desenhos, atividades que não necessitariam propriamente de um engenheiro para ocorrerem.

O restante do processo, envolvendo verificação dos desenhos, plotagem e envio dos mesmos à contratante continua o mesmo apresentado nos Fluxos A e B. Pode-se, no entanto, fazer com que todos os modelos gerados separadamente na etapa P.4 sejam integrados em um só na tarefa P.5. Desta forma, o documento de resumo dos materiais poderia ser gerado automaticamente. Abaixo, apresentam-se os quadros referentes às tarefas do fluxo.

Quadro 32 - IDM: Criação de modelo BIM preliminar no Allplan e detalhamento da estrutura

Tipo	Tarefa
Nome	Criação de modelo BIM preliminar no Allplan e detalhamento da estrutura
Identificador	P.4
Descrição	A partir da exportação em formato IFC do modelo BIM estrutural do Scia Engineer, cria-se um modelo BIM preliminar no Allplan. Este modelo deve possuir a geometria básica da estrutura, além de conter as armaduras que os engenheiros julgarem ser necessárias

Fonte: O autor.

Quadro 33 - IDM: Refinamento do modelo BIM e geração dos desenhos de forma no Allplan

Tipo	Tarefa
Nome	Refinamento do modelo BIM e geração dos desenhos de forma no Allplan
Identificador	P.5
Descrição	Através do modelo criado na tarefa P.4, faz-se um refinamento da estrutura, com todos os detalhes que devem ser representados para a execução da mesma, mas que são dispensáveis nas tarefas de cálculo. Por fim, criam-se os desenhos de forma. É preciso ainda desenvolver uma tabela com a quantidade de concreto e área de formas necessária

Fonte: O autor.

Quadro 34 - IDM: Refinamento das armaduras no modelo BIM e geração dos desenhos através do Allplan

Tipo	Tarefa
Nome	Refinamento das armaduras no modelo BIM e geração dos desenhos e documento resumo através do Allplan
Identificador	P.6
Descrição	É feito um refinamento das armaduras que constam do modelo desenvolvido na tarefa P.4, sendo possível também a criação de novas barras de aço. Em seguida, criam-se os desenhos finais. Devem estar especificadas todas as barras de armadura necessárias para as estruturas, constando diâmetros, espaçamentos e formatos. É necessário ainda a criação de uma tabela resumo de armaduras que relaciona todas as barras, seus diâmetros, quantidades, comprimentos unitários e totais, peso por diâmetro de barra, e categoria do aço utilizado. Por fim, podem ser juntados todos os modelos e o documento resumo de materiais pode ser criado

Fonte: O autor.

Os requisitos de troca únicos do fluxo proposto são expostos na sequência. O requisito T.P.3 engloba a exportação do modelo BIM estrutural no Scia Engineer e a importação do mesmo no Allplan. Dessa forma, as informações mais importantes nesse requisito são as geométricas e as características de materiais. As seções transversais de vigas e pilares e as espessuras de paredes e lajes, assim como suas demais dimensões, devem ser transferidas. Isso irá permitir que o detalhamento da armadura pelo engenheiro seja feito com as dimensões corretas.

Quadro 35 - IDM: Requisito de troca T.P.3

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.P.3			
Descrição	Requisito de troca que contém as informações que serão utilizadas para a criação de um modelo BIM preliminar no Allplan. Este requisito conduz a exportação do modelo BIM estrutural do Scia para o Allplan			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Laje	Espessura	O		IfcSlab
	Dimensões	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Viga	Seção transversal	O		IfcBeam
	Comprimento	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Pilar	Seção transversal	O		IfcColumn
	Comprimento	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Parede	Espessura	O		IfcWall
	Dimensões	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Fundações	Espessura	O		IfcFooting
	Dimensões	O		IfcPile
	Nível	O		IfcMaterial
	Classe do concreto	O		

Fonte: O autor.

O requisito de troca T.P.4 diz respeito a que dados o engenheiro deve plenamente inserir no modelo BIM preliminar para que este possa ser enviado ao projetista BIM para as atividades subsequentes. Logo, devem estar presentes todas as informações geométricas, características de materiais, dados das armaduras (diâmetro, espaçamento, categoria do aço, entre outros), assim como dados interessantes para o desenho, como níveis de água e do terreno.

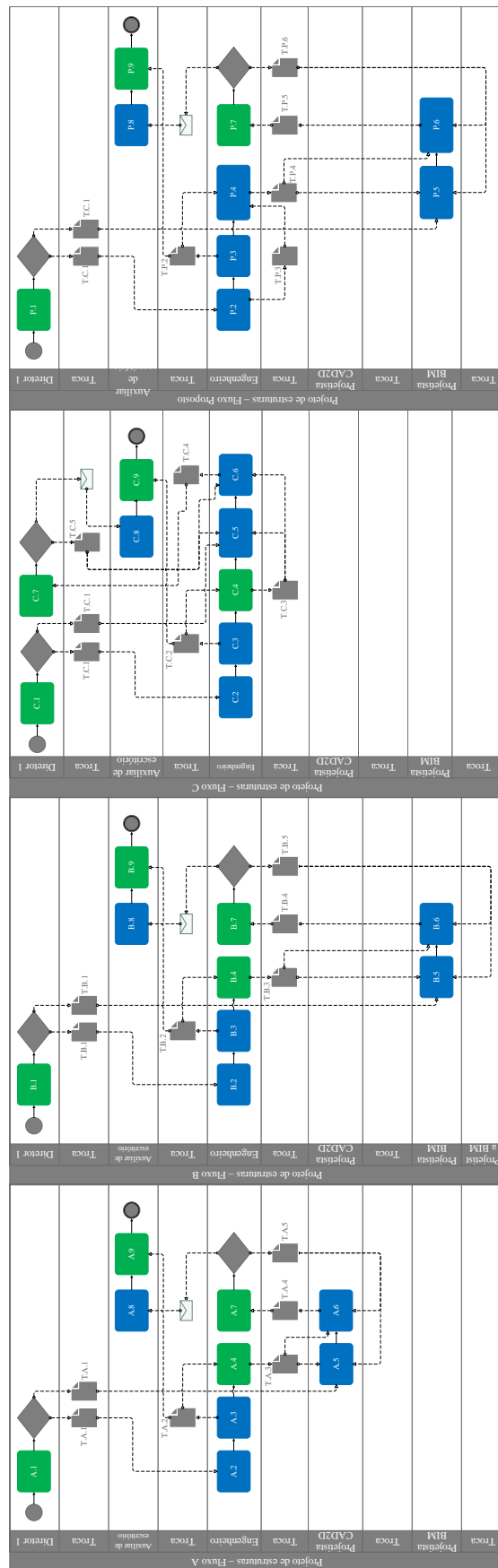
Quadro 36 - IDM: Requisito de troca T.P.4

Tipo	Requisito de troca			
Ident.	T.P.4			
Descrição	Requisito de troca que contém as informações do projeto básico e o modelo BIM preliminar detalhado pelo engenheiro e criado na etapa P.4. Deve conter todas as informações necessárias para o desenvolvimento dos desenhos de forma e armadura por parte do projetista			
Tipo de informação	Informação requerida	Obrigatória (O) Opcional (OP)	Observações	Entidade IFC
Laje	Espessura	O		IfcSlab
	Dimensões	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Viga	Seção transversal	O		IfcBeam
	Comprimento	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Pilar	Seção transversal	O		IfcColumn
	Comprimento	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Parede	Espessura	O		IfcWall
	Dimensões	O		IfcMaterial
	Nível	O		
	Classe do concreto	O		
Armadura	Diâmetro	O		IfcReinforcing Bar
	Espaçamento	O		
	Formato	O		
	Categoria do aço	O		
	Comprimento dos trechos das barras	O		
	Cobrimento	O		
Fundações	Espessura	O		IfcFooting
	Dimensões	O		IfcPile
	Nível	O		IfcMaterial
	Classe do concreto	O		
Nível de água	Nível	OP	Pode ou não existir	-
Nível do terreno	Nível	O		IfcBuilding. ElevationOf Terrain

Fonte: O autor.

Na Figura 36 apresenta-se uma comparação direta entre os fluxos observados no estudo de caso e o fluxo proposto nesta pesquisa.

Figura 36 - Comparação entre os fluxos observados e o proposto



Atividades digitais
Atividades analógicas

Fonte: O autor.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho visou o estudo do processo de projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, utilizando a metodologia IDM. Para tanto, inicialmente foram propostos três objetivos específicos: mapear o processo de projeto de estruturas de concreto armados para obras de saneamento; identificar os requisitos de troca entre os envolvidos no processo; e propor um fluxo de processo para o projeto de estruturas de concreto, com base no estudo desenvolvido.

Com o intuito de atingir os objetivos, no capítulo 2 desenvolveu-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre os tópicos de projeto, BIM, IFC, IFD e, principalmente, IDM. Esta análise da literatura deu ulterior suporte ao delineamento do método de pesquisa empregado, o estudo de caso.

Uma vez no estudo de caso, as estratégias de coleta de dados foram a observação participante, as entrevistas e a análise documental. O relato do estudo de caso, disposto no capítulo 3, descreve minuciosamente a empresa onde o estudo foi desenvolvido, bem como o processo de projeto da mesma.

Durante a coleta de dados, notou-se que o início do processo de projeto é comandado pelo diretor da empresa. Este faz o pré-lançamento das estruturas, o detalhamento de algumas quando conveniente, e distribui os trabalhos entre os colaboradores para dar sequência ao projeto.

Enquanto algumas estruturas necessitam de dimensionamento estrutural, outras não. Para as que o precisam, um engenheiro do setor de saneamento desenvolve um modelo BIM estrutural que visa a análise estrutural. Em seguida, são gerados relatórios de cálculo que dão suporte à etapa de detalhamento da estrutura, também desenvolvida por um engenheiro. Nesta etapa, definem-se as armaduras para cada elemento estrutural, e estas, juntamente com as características de seção transversal ou espessuras de cada componente, são desenhadas sobre as folhas do projeto básico.

Deste ponto em diante foram percebidos três fluxos diferentes para o processo de projeto. No Fluxo A, um projetista que trabalha em CAD 2D, com base nas folhas do projeto básico com as anotações, desenvolve os desenhos de forma e armadura da estrutura. No Fluxo B, um projetista, com base nas folhas do projeto básico com as anotações, desenvolve um modelo BIM no aplicativo Allplan. A partir deste modelo, são gerados os desenhos de forma e armadura da estrutura. O Fluxo C é similar ao Fluxo B, com a diferença de que o

responsável pelos desenhos de forma e armadura é o próprio engenheiro que calculou a estrutura em uma etapa anterior.

Após a geração dos desenhos, os mesmos devem ser verificados pelo Diretor (Fluxo C) ou por algum engenheiro (Fluxos A e B). Caso não sejam necessárias alterações, envia-se uma mensagem à auxiliar de escritório que faz a plotagem dos desenhos, a criação do documento resumo e o posterior encaminhamento destes à contratante.

Deste modo, no capítulo 5, com base no relato do estudo de caso, foi possível a criação de mapas de processo e requisitos de troca, seguindo os padrões propostos pela metodologia IDM.

Os mapas de processo foram desenvolvidos na linguagem BPMN e procuraram respeitar os três fluxos observados quando da coleta de dados. Neles foram identificadas as atividades principais do processo de projeto e os vários requisitos de troca envolvidos. Cada tarefa foi posteriormente detalhada em um quadro específico, conforme as recomendações da BuildingSMART (2010).

Além disso, cada requisito de troca também foi posteriormente aprofundado, elicitando quais informações eram necessárias em um determinado intercâmbio de dados, se estas eram obrigatórias ou opcionais, e qual entidade IFC poderia suprir tal necessidade de troca.

Assim, percebe-se que através do estudo de caso foi possível caracterizar, com detalhe, o processo de projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM na organização. Ademais, foi também possível determinar os vários requisitos de troca de informação que fazem parte do processo. Em outras palavras, foram estabelecidas quais informações são necessárias para a perfeita execução de cada uma das tarefas que compõe um projeto de estruturas. Tais classes de informação foram identificadas ainda no padrão IFC, e percebeu-se a inexistência de algumas entidades que demonstraram-se necessárias, como por exemplo, as referentes às características do solo (resistência, tipo e nível do lençol freático).

Ainda, foi proposto um fluxo que poderia otimizar o processo de projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento na empresa. Tal fluxo foi apresentado também nos padrões do IDM, constando de mapas de processo e requisitos de troca. Nele, o engenheiro desenvolveria o detalhamento da estrutura, com suas devidas espessuras e seções transversais, incluindo a modelagem das armaduras principais, em um modelo BIM chamado preliminar. O mesmo seria desenvolvido no Allplan a partir da exportação do modelo estrutural do Scia Engineer em formato IFC. Deste modo, a

informação, que antes era representada nas folhas do projeto básico, mantém-se intrínseca ao modelo. Com o fluxo proposto, tanto o engenheiro quanto o projetista estariam desempenhando atividades condizentes com suas respectivas funções, otimizando os recursos da organização.

Atingidos os objetivos de mapear os processos e requisitos de informação e de propor um processo de projeto de estruturas de concreto armado para obras de saneamento através de sistemas BIM, pode-se concluir que o IDM foi uma ferramenta valiosa no decorrer do estudo. Os mapas de processo e os requisitos de informação aqui criados podem também vir a dar suporte ao posterior desenvolvimento de aplicativos BIM que visem atender esse nicho de projetos, bem como acelerar a adoção de BIM no mercado. É conveniente ressaltar que os resultados da pesquisa demonstram-se válidos para o caso imediato, sendo necessários testes para a replicação dos mesmos.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser citados:

- a) Mapear outros processos de projeto na realidade da construção brasileira, como projetos hidráulicos, sanitários, elétricos, arquitetônicos, entre outros;
- b) Testar o fluxo aqui proposto em um projeto real;
- c) Comparar os requisitos de troca propostos com um modelo IFC proveniente de determinado *software*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAPT. **ADAPT Company Profile**, 2014. Disponível em:
<<http://www.adaptsoft.com/about.php>>. Acesso em: 10/12/2013.

ADESSE, E.; MELHADO, S.B. **A coordenação de projetos externa em empresas construtoras e incorporadoras de pequeno e médio portes**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção - SIBRAGEC, 3., 2003, São Carlos. Anais do III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção - SIBRAGEC, 2003.

AGOPYAN, V. Números do desperdício. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 53, p. 30-33, ago. 2001.

ALDER, M. A. **Comparing time and accuracy of building information modeling to on-screen takeoff for a quantity takeoff of a conceptual estimate**. Master of Science Thesis – School of Technology – Brigham Young University, 2006.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Qualidade na Prática: Conceitos e Ferramentas**. Curitiba: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Departamento Regional do Paraná, 2003.

ANDERY, P. R. P. Desenvolvimento de produtos na construção civil: uma estratégia baseada no Lean Design. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 2., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. CD-ROM.

ANDRADE, L. S. **A contribuição dos sistemas BIM para o planejamento orçamentário das obras públicas: estudo de caso do auditório e da biblioteca de Planaltina**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, 2012.

ANDRADE, M. L. V. X. de.; RUSCHEL, R. C.. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC, **Gestão & tecnologia de projetos**, v. 4, n. 2, 2009. Disponível em:
<<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/jornal/index.php/gestaodeprojetos/article/viewArticle/76>>. Acesso em: 17/12/2012.

ARAM, S.; EASTMAN, C.; SACKS, R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. **Automation in Construction**, 2013.

ARAM, S.; EASTMAN, C.; SACKS, R.; PANUSHEV, I.; VENUGOPAL, M. Introducing a new methodology to develop the information delivery manual for AEC projects. In:

Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference. **Proceedings**, Cairo, Egypt, 2010.

ARAÚJO, C. S.; MENDES, L. A. G.; TOLEDO, L. B. Modelagem do desenvolvimento de produtos: caso EMBRAER – experiência e lições aprendidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 3., 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: NeDIP–CTC/UFSC, 2001. CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Procedimentos: Atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, 2011.

AYRES FILHO, C. **Acesso ao modelo integrado do edifício**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, 2009.

BARRETO, I. M. C. B. do N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Sergipe: Sinduscon, 2005.

BARROS, M. M.; MELHADO, S. B. **Racionalização do projeto de edifícios construídos pelo processo tradicional**. São Paulo, 1993. Seminário apresentado no curso de pós-graduação da EPUSP.

BELL, H.; BJORKHAUG, L. A BuildingSMART ontology. **Proceedings of the 2006 ECPPM Conference**. 2006. Disponível em: <http://www.BuildingSMART.no/sites/default/files/2006_06_16_BuildingSMART_Ontology_LBJ_HBE.pdf>. Acesso em: 05/02/2013.

BERARD, O.; KARLSHOJ, J. Information Delivery Manuals to integrate building product information into design. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, 2012. Disponível em: <http://www.itcon.org/data/works/att/2012_4.content.08079.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2013.

BERTEZINI, A. L. **Métodos de avaliação de projeto de arquitetura na construção de edifícios sob a ótica da gestão da qualidade**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BJORKHAUG, L.; BELL, H. **IFD In A Nutshell**, 2007. Disponível em: <http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD_in_a_Nutshell>. Acesso em: 20/02/2013.

BLIS. **IFC Solutions Factory**, 2012. Disponível em: <<http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>>. Acesso em: 05/01/2014.

BLOOR, M.; OWEN, J. **Product data exchange**. London, UCL Press, 1995.

BPMN. **Object Management Group: Business Process Model and Notation**, 2014. Disponível em: <<http://www.bpmn.org/>>. Acesso em: 03/05/2014.

BRASIL. Projeto de lei nº 5.296, de 23 de maio de 2005.

_____. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993.

BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes: IFC4 Release Candidate 4**. 2012. Disponível em: <<http://www.BuildingSMART-tech.org/ifc/IFC2x4/rc4/html/index.htm>>. Acesso em: 04/02/2013.

_____. **Information Delivery Manual: Guide to Components and Development Methods**. 2010. Disponível em: <http://iug.BuildingSMART.org/idms/development/IDMC_004_1_2.pdf>. Acesso em: 21/01/2013.

_____. **IFD Library White Paper**. Disponível em: <http://www.ifd-library.org/images/IFD_Library_White_Paper_2008-04-10_I_I_.pdf>. Acesso em: 20/02/2013.

CALDAS, C. H.; SOIBELMAN, L. Automating Hierarchical Document Classification for Construction Management Information Systems. **Automation in Construction**, v. 12, p. 395-406, 2003.

CHASTAIN, T.; KALAY, Y. E.; PERI, C. Square peg in a round hole or horseless carriage? Reflections on the use of computing in architecture. **Automation in Construction**, v. 11, n. 2, 2002, p.237-248. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/journal/09265805>. Acesso em: 05/03/2013.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability: a primer**. 2. ed. Austin, 1987 (CII publication, n3-1).

COONS, S. A. **An outline of the requirements for a computer-aided design system.** In: Spring Joint Computer Conference, 1963, Detroit. New York: 1963 299-304. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1461551.1461588>>. Acesso em: 03/06/2013.

CRC CONSTRUCTION INNOVATION. **Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House,** Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia. 2007.

CSI AMERICA. **About CSI,** 2013. Disponível em: <<http://www.csiamerica.com/company/about>>. Acesso em: 05/02/2014.

DE VRIES, H. J. IT Standards Typology. In: JAKOBS, K. **Advanced Topics in Information Technology Standards and Standardization Research Volume 1.** Hershey, PA, USA, Idea Group Publishing, p. 11-36. Disponível em: <[ftp://sumin.in.ua/books/DVD-028/Jakobs_K_Advanced_Topics_in_Information_Technology_Standards_And_Standardization_Research_\(Volume_1\)_2005\(en\)\(348s\).pdf](ftp://sumin.in.ua/books/DVD-028/Jakobs_K_Advanced_Topics_in_Information_Technology_Standards_And_Standardization_Research_(Volume_1)_2005(en)(348s).pdf)>. Acesso em: 07/02/2013.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Estudo Setorial da Construção.** 2011. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A2E7311D1012FE92DE9D55581/estudo_setorial_construcao_04-2011.pdf>. Acesso em: <29/06/2013>.

EASTMAN, C.; JEONG, Y. S.; SACKS, R.; KANER, I. Exchange Model and Exchange Object Concepts for Implementation of National BIM Standards. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 24, n. 1, p. 25-34, 2010. Disponível em: <<http://2385.a.hostable.me/CIV1299/Readings/04/Exchange%20Model%20and%20Exchange%20Object%20Concepts%20for%20Implementation%20of%20National%20BIM%20Standards.pdf>>. Acesso em: 22/02/2013.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook.** A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2.ed. New Jersey: Wiley, 2008.

FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. Por um processo de projeto simultâneo. In: II WORKSHOP NACIONAL: gestão do processo de projeto na construção de edifícios, 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2002.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. 9º ConstruBusiness: Congresso Brasileiro da Construção Civil. (Caderno Técnico). São Paulo: DECONCIC/FIESP, 2010.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2.ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.

FERREIRA, S. L. **Proposta de ampliação do modelo IFC com a contribuição do IES LM-63: A luminária no ciclo de vida da Edificação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. **Implantação da racionalização construtiva na fase de projeto**. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1993.

GALLAHER, M. P.; O'CONNOR, A. C.; DETTBARN, J. L., JR.; GILDAY, L. T. **Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry**. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/PDF/b04022.pdf>>. Acesso em: 29/06/2013.

GAO, Z.; MAHALINGAM, G.; NGUYEN, T. H.. Applications of building information modeling (BIM) in the design and construction process. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, XII**, 2008, China.

GENERAL SERVICE ADMINISTRATION (GSA). BIM Guide Series 01, 2007. Disponível em: <http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_v0_60_Series01_Overview_05_14_07.pdf>. Acesso em: 07/04/2012.

GIELINGH, W. An assessment of the current state of product data technologies. **Computer Aided Design**, v. 40, n. 7, p. 750-759, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448508001139>>. Acesso em: 07/02/2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓES, R. H. T. B. **Compatibilização de projetos com a utilização de ferramentas BIM**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Habitação) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.

GRABOWSKI, H.; ANDERL, R. Integration of the design and manufacture planning process based on a CAD system with a technology oriented volume model. **Computers & Graphics**, v. 7, n. 2, 1983, p.125-141. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00978493>>. Acesso em: 03/01/2013.

GRAY, C.; HUGHES, W.; BENNETT, J. **The successful management of design**. Centre for strategic studies in construction, University of Reading, 1994.

HARTLEY, J. R. **Engenharia simultânea**: um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos. Porto Alegre: Bookman, 1998.

IAI. **An Introduction to the International Alliance for Interoperability and the Industry Foundation Classes**. 1999. Disponível em:

<http://iaiweb.lbl.gov/Resources/IFC_Releases/IFC_Release_2.0/BETA_Docs_for_Review/IFC_R2_IntroToIAI_Beta_d2.PDF>. Acesso em: 04/02/2012.

_____. **IFC Technical Guide: Enabling Interoperability in the AEC/FM Industry**.

2000. Disponível em: <http://www.bbs-slama.com/Projets/B%E2timent%20Interop%E9rable/IFC%202x%20Final/IFC_2x_Technical_Guide.pdf>. Acesso em: 05/02/2013.

IBRAHIM, M.. To BIM or not to BIM this is NOT the question: how to implement BIM solutions in large design firm environments. In: EDUCATION IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE CONFERENCE, XXIII., 2006, Grécia. **Proceedings...** Grécia, 2006.

ISO. **Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles**. 1994.

_____. **Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information**. 2007.

JACOSKI, C.; LAMBERTS, R.. A interoperabilidade como fator de integração de projetos em construção civil. In: WORKSHOP DE GESTÃO DO PROCESSO DO PROJETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, II., 2002, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, 2002.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo, 2000.

KEMMERER, S. J. **STEP: The Grand Experience**. NIST Special Publication 939, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, pp. 185, 1999.

KIVINIEMI, A. **Ten years of IFC-development – Why are we not yet there?**. Notas no 2006 Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, Canadá. 2006.

KHANZODE, A.; FISCHER, M.; REED, D. Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 13, p. 324-342, 2008.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**, 2008. Disponível em:
<http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/TCC/Recursos_Hidricos_e_Saneamento_Versao_digital.pdf>. Acesso em: 06/02/2014.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PEREIRA, P. R. P. Análises de métodos de avaliação de projetos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 7, n.1, 2012.

KRAUSE, F. L.; KIMURA, F.; KJELLBERG, T.; LU, S. C. Product modelling. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 42, n. 2, 1993, p.695-706. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00078506>>. Acesso em: 05/06/2013.

LAAKSO, M.; KIVINIEMI, A. The IFC standard – a review of history, development, and standardization. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, p. 134-161, 2012. Disponível em: < http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2012_9>. Acesso em: 07/02/2013.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 2ª ed. – São Paulo: Atlas, 1991.

LIEBICH, T. **Unveiling IFC2x4 – the Next Generation of openBIM Interoperability**. 2010. Disponível em:
<http://www.bimbyen.dk/sites/default/files/forum/comments/unveiling_ifc2x4.pdf>. Acesso em: 06/02/2013.

McGINTY, T. Projeto e processo de projeto. In: **Introdução a Arquitetura**. Rio de Janeiro: Campos, 1984 p.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios**: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. Tese – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

MELHADO, S. B.; AQUINO, J. P. R. D. Perspectivas da utilização generalizada de Projetos para Produção na construção de edifícios. In: **GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**, 2001, São Carlos, SP. Disponível em: <http://www.eesc.sc.usp.br/sap/workshop/anais/PERSPECTIVAS_DA_UTILIZACAO_GENERALIZADA_DE_PROJ_PARA_PRODUCAO.pdf>. Acesso em: 04/02/2013.

MELHADO, S. B.; HENRY, E. Quality management in french architectural offices and its singularities In: **QUALITY ASSURANCE CONFERENCE ON IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION AND RELATED SYSTEMS: a global update**, 2000, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: CIB (TG 36), 2000.

MIKALDO JR., J. **Estudo comparativo do processo de compatibilização de projetos em 2D e 3D com uso de TI**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative Data Analysis**. 2nd ed. Sage Publications, 1994.

MONDRUP, T. F.; KARLSHOJ, J.; VESTERGAARD, F. Information delivery manuals to facilitate IT supported energy analysis. In: **CIB W078 2012 CONFERENCE**, Beirute, 2012. Disponível em: <http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:118549/datastreams/file_7e045216-0658-4cb8-a2e2-d787c00e04c0/content>. Acesso em: 21/02/2013.

MORAES, M. C. **Estruturas de fundações**. São Paulo: McGraw-Hill, 1976.

MÜLLER, M. F. **A interoperabilidade entre sistemas CAD de projeto de estruturas de concreto armado baseada em arquivos IFC**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. Barreiras para o uso da tecnologia da informação na indústria da construção civil. In: **WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**, 2, 2002, Porto Alegre, RS. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em: 20/11/2006.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. A Contribuição da Tecnologia da Informação ao Processo de Projeto na Construção Civil. In: **Workshop de Gestão do Processo de Projeto na**

Construção de Edifícios, 2001, São Carlos. **Anais do Workshop de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios**. São Carlos : EESC - USP, 2001.

NAWARI, N. O. BIM Standard in the Structural Domain. **Journal of Civil Engineering and Science**, v. 01, n. 02, 2012a. Disponível em:
<<http://www.academicpub.org/jces/paperInfo.aspx?PaperID=965>>. Acesso em: 26/04/2013.

_____. BIM Standardization and Wood Structures. In: International Conference on Computing in Civil Engineering, **Proceedings**. Florida, 2012b.

NBIMS – National Building Information Modeling Standard. **Overview, Principles and Methodologies**, Version 1.0 — Part 1, 2007. Disponível em:
<http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSV1_p1.pdf>. Acesso em: 07/04/2012.

NEMETSCHER ALLPLAN. **Building Information Modeling with Nemetschek Allplan**, 2014. Disponível em: <<http://www.nemetschek-allplan.eu/>>. Acesso em: 05/01/2014.

OCSS. **OmniClass Construction Classification System: A Strategy for Classifying the Built Environment**. 2014. Disponível em: <<http://www.omniclass.org/>>. Acesso em: 03/05/2014.

PARK, Y. H.; CHO, C. Y.; LEE, G. Identifying a subset of BPMN for IDM development. In: CIB W78-W102/2011: International Conference. **Proceedings**. Sophia Antipolis, France, 2011. Disponível em: <<http://2011-cibw078-w102.cstb.fr/papers/Paper-30.pdf>>. Acesso em: 26/04/2012.

PATACAS, J. L. M. L. **Metodologia para suporte de processos colaborativos na indústria da construção baseada em interoperabilidade e BIM**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

PELS, H. J. Product and process data modelling. **Computers in Industry**, v. 31, n. 3, 1996, p.191-194. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/journal/01663615>. Acesso em: 02/03/2013.

ROBINSON, C. Structural BIM: discussion, case studies and latest developments. **The structural design of tall and special buildings**, v. 16, p. 519-533, 2007.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner - researchers**. 2nd ed. Blackwell Publishing, 2002.

ROMANO, F.V.; BACK, N.; OLIVEIRA, R. A importância da modelagem do processo de projeto para o desenvolvimento integrado de edificações. In: WORKSHOP NACIONAL: gestão do processo de projeto na construção de edifícios, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001. CD-ROM

ROSS, D. T. Computer-aided design (research summary). **Communications of the ACM**, v. 4, n. 5, 1961, p.235. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=366532.366554>>. Acesso em: 03/06/2013.

SACKS, R.; KANER, I.; EASTMAN, C. M.; JEONG, Y. S. The Rosewood experiment – Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. **Automation in Construction**, v. 19, p. 419-432, 2010.

SACKS, R.; BARAK, R. Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. **Automation in Construction**, v. 17, p. 439-449, 2008.

SANEPAR. **Perfil**, 2014. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/perfil>>. Acesso em: 10/01/2014.

_____. **Prescrições para elaboração e apresentação de projetos estruturais**, 2011. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-manual-de-projetos-de-saneamento/Modulo_7_-_Prescricao_para_elaboracao_e_apresentacao_de_projetos_estruturais.pdf>. Acesso em: 18/05/2014.

SCHENK, D.; WILSON, P. **Information Modeling: The EXPRESS Way**. New York, USA: Oxford University Press, p. 388. 1994.

SCIA ENGINEER. **Scia Engineer is an integrated, multi-material platform for structural analysis and design of all kinds of projects**, 2014. Disponível em: <<http://nemetschek-scia.com/en/software/product-selection/scia-engineer>>. Acesso em: 05/01/2014.

SCHRAMM, L. Notes on case studies of instructional media projects. **Working paper**, Academy for Educational Development, 1971.

SEBRAE. **Manual de saneamento**, s.d. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/customizado/gestao-ambiental-biblioteca/bib_manual_saneamento.pdf>. Acesso em: 06/02/2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3ª Ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SJÖSTRÖM, C. Service life of buildings. In: Applications of the performance concept in buildings. **Proceedings...** CIB: Tel Aviv, 1996.

STANGELAND, B. **BuildingSMART international** – Vision, mission, strategy & goals. Apresentação. Disponível em: <<http://www.itp.net/events/buildsmart/presentations/Bjorn.pdf>>. Acesso em: 06/02/2013.

STEMMER, C. E. A questão do projeto nos cursos de engenharia – texto nº 1. In: **Fórum ABENGE, Revista Ensino de Engenharia**, v. 7, n. 1, 1988. São Paulo, ABENGE, 1988.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo de processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1999.

TQS. **O que é o sistema CAD/TQS? Para quê ele serve?**, 2014. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>>. Acesso em: 05/01/2014.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. Oficina de Textos, 2011.

YAN, H.; DAMIAN, P. Benefits and barriers of building information modeling. In: International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, XII, 2008, China. **Conference Proceedings**, China, 2008.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.