



**ROMEU DA SILVA NEIVA NETO**

**O PROJETO DA PRODUÇÃO DE FORMAS PARA  
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO  
INCORPORANDO BIM**

**CAMPINAS  
2014**







UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**ROMEU DA SILVA NEIVA NETO**

**O PROJETO DA PRODUÇÃO DE FORMAS PARA  
ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO  
INCORPORANDO BIM**

**Orientadora: Profa. Dra. Regina Coeli Ruschel**

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Arquitetura e Construção.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO ROMEU DA SILVA NEIVA NETO E ORIENTADO PELA PROFA. DRA. REGINA COELI RUSCHEL.

ASSINATURA DA ORIENTADORA

---

**CAMPINAS  
2014**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

N319p      Neiva Neto, Romeu da Silva, 1988-  
O Projeto da produção de formas para estrutura de concreto armado incorporando BIM / Romeu da Silva Neiva Neto. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Regina Coeli Ruschel.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Modelagem de informação da construção. 2. Modelagem 3D. 3. Concreto pré-moldado - Formas. 4. Concreto armado. 5. Construção civil - Orçamentos. I. Ruschel, Regina Coeli, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** The Formwork Design for reinforced concrete structures incorporating BIM

**Palavras-chave em inglês:**

Building information modeling

3D modeling

Precast concrete - Forms

Reinforced concrete

Construction - Budgets

**Área de concentração:** Arquitetura e Construção

**Titulação:** Mestre em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Regina Coeli Ruschel [Orientador]

Ariovaldo Denis Granja

Carlito Calil Junior

**Data de defesa:** 01-08-2014

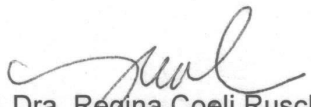
**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**O PROJETO DA PRODUÇÃO DE FORMAS PARA ESTRUTURA DE  
CONCRETO ARMADO INCORPORANDO BIM**

**Romeu da Silva Neiva Neto**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

  
Prof. Dra. Regina Coeli Ruschel  
**Presidente e Orientadora/UNICAMP**

  
Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja  
**UNICAMP**

  
Prof. Dr. Carlito Calil Júnior  
**USP**

Campinas, 01 de agosto de 2014



## RESUMO

NEIVA NETO, Romeu da Silva. **O projeto da produção de formas de estrutura de concreto armado incorporando BIM**. Campinas, 2014: Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. 125 p.

Os sistemas de formas para concreto armado existentes no mercado brasileiro compõem até 30% do custo das obras de estruturas de concreto armado no país. Porém, construtoras geralmente não dão a devida atenção a essa disciplina, pois são poucos os casos em que o projeto para esse fim é desenvolvido e quando o é, geralmente carece de detalhamento e precisão. Isso resulta em desperdícios, falta de planejamento e atrasos nos cronogramas gerais das obras. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi incorporar os preceitos da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no Projeto Construtivo de Formas de Madeira (PCFM). Restringiu-se a estruturas de concreto armado para edifícios de múltiplos pavimentos. O método adotado foi o da pesquisa construtiva, pois desejava-se desenvolver de forma inovadora, projetos de forma, resolvendo problemas do mundo real por meio de uma teorização digital aplicada. O delineamento da pesquisa compreendeu a descrição da problemática (conhecimento prático e teórico), a formulação da solução digital para o projeto de formas, a implementação da solução e a consideração de sua aplicabilidade. A solução para o projeto de formas abarcou incrementalmente diferentes níveis de abstração do projeto: do componente (modelagem paramétrica), da quantificação (detalhamento e custo) e do planejamento (simulação 4D). A contribuição resultante foi a virtualização do projeto de formas em BIM gerando impacto benéfico: no processo construtivo e na adoção deste novo paradigma no contexto brasileiro.

**Palavras chaves:** Biblioteca de componentes, BIM, Modelagem paramétrica, projeto de formas, quantificação, simulação 4D.



## ABSTRACT

The Formwork systems that exist in the Brazilian construction industry contributes to 30 % of the cost of works of reinforced concrete structures in the country. However, builders generally do not give due attention to this subject because there are few cases in which the formwork design is developed for this purpose and when it is, often lacks detail and accuracy. This results in waste, lack of planning and delays in general schedules of projects. Thus, the aim of this research was to incorporate the concepts of the Building Information Modeling (BIM) in Formwork Construction Design (FCD). The research was restricted to reinforced concrete structures for multiple floors buildings. The scientific method used was the constructive research as it was desired to develop in an innovative way, for workshop drawings, solving real-world problems by means of a digital applied theory. The scope of the research consisted of the research problem (practical and theoretical knowledge), the formulation of the digital solution for the formwork design, solution implementation and consideration of its applicability. The solution for the formwork design encompassed incrementally different levels of design abstractions: the component (parametric modeling), quantity take-off (and cost breakdown) and site planning (4D simulation). The resulting contribution was the virtual construction for the formwork design systems incorporating BIM. That brought beneficial impacts to the construction process and to the adoption of this new paradigm in the Brazilian context.

**Palavras chaves:** Components library, BIM, Parametric modeling, Formwork design, quantity take-off, 4D simulation.





# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Definição do Problema de Pesquisa e Justificativa.....	2
1.2	Objetivo.....	4
1.2.1	Objetivos Específicos .....	4
1.3	Estruturação do texto .....	4
<b>2</b>	<b>Síntese da bibliografia fundamental .....</b>	<b>7</b>
2.1	Sistemas de formas .....	7
2.2	Madeira para estruturas de formas.....	14
2.2.1	Madeira serrada .....	14
2.2.2	Madeira compensada .....	15
2.3	Projeto Construtivo.....	16
2.3.1	Projeto voltado para a produção.....	16
2.3.2	Projeto construtivo de formas.....	19
2.4	Modelagem da Informação da Construção .....	22
2.4.1	Ferramentas BIM de modelagem .....	26
2.4.2	Extração de quantitativos e estimativa de custo .....	28
2.4.3	Planejamento e controle da construção.....	29
2.4.4	Interoperabilidade entre ferramentas.....	30
2.5	API – Application Programming Interface.....	35
2.6	Parametrização de componentes em outras ferramentas BIM e Bibliotecas de Componentes.....	36
2.6.1	Nível de Detalhamento ou Level of Detailing (LOD) .....	38
2.7	Criação de componentes por meio de famílias no REVIT .....	39
2.7.1	Estratégia de parametrização nas famílias no REVIT .....	44
<b>3</b>	<b>Método de pesquisa .....</b>	<b>47</b>
3.1	Pesquisa construtiva ( <i>Constructive research</i> ).....	49
3.1.1	Encontrar um problema prático relevante, incluindo potenciais de contribuições teóricas.....	49

3.1.2	Examinar o potencial de pesquisa a longo prazo, em conjunto com o setor alvo.....	50
3.1.3	Obter profundo conhecimento da área, tanto na teoria quanto na prática .....	50
3.1.4	Propor uma solução inovadora e desenvolver uma construção que solucione um problema real	51
3.1.5	Implementar a solução e testar como ela funciona .....	51
3.1.6	Ponderar o escopo de aplicabilidade da solução.....	54
3.1.7	Identificar e analisar as contribuições teóricas.....	54
<b>4</b>	<b>Modelagem .....</b>	<b>55</b>
4.1	Formulações iniciais e estratégicas.....	55
4.1.1	Procedimento de criação das famílias de formas .....	55
4.2	Implementações graduais (tentativa e erro).....	59
4.2.1	Estratégia de implementação da modelagem paramétrica através das famílias de formas	59
4.2.2	Modelagem das famílias das formas do subsistema Pilar .....	61
4.2.3	Modelagem das famílias das formas do subsistema de vigas .....	63
4.2.4	Modelagem das famílias das formas do subsistema de lajes .....	63
4.2.5	Classificação e ordenação das famílias .....	64
4.2.6	Modelagem das formas no projeto estrutural .....	65
4.2.7	Estudo de caso de um projeto .....	70
4.3	Verificações e análises .....	71
<b>5</b>	<b>Quantificação .....</b>	<b>73</b>
5.1	Formulações iniciais e estratégicas.....	73
5.2	Implementações graduais (tentativa e erro).....	78
5.3	Verificações e análises .....	80
<b>6</b>	<b>Simulação 4D.....</b>	<b>83</b>
6.1	Formulações iniciais e estratégicas.....	83
6.2	Implementações graduais (tentativa e erro).....	85
6.3	Validação .....	87
<b>7</b>	<b>Ponderações e análise das contribuições teóricas .....</b>	<b>91</b>
7.1	Tentativa de implantação em um escritório de projetos.....	91

7.2	Simulação 4D para o projeto de formas em ambiente didático.....	92
7.3	Desenvolvimento de um projeto de formas para um empreendimento comercial.....	99
7.4	Considerações gerais.....	100
8	Contribuições .....	103
9	Conclusão .....	107
	Referências.....	109
	Glossário .....	115
	Apêndices.....	117
	Apêndice A – Estruturação e parametrização das famílias de formas de pilar .....	118
	Apêndice B – Estudo de caso do Projeto Construtivo de Formas de Madeira .....	123



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por tudo que ele me proporcionou nesses mais de dois anos de trabalho. Agradeço também a todas as pessoas especiais que conheci nessa caminhada.

À minha orientadora Prof. Dra. Regina Ruschel que me proporcionou grandes experiências acadêmicas com sua exímia experiência e aptidão no campo da pesquisa científica.

À minha família, por todo o amor que eles têm por mim.

À minha parceira por todo o apoio e tudo o que ela me proporcionou de novas experiências de vida.

À todos os colegas e amigos que conheci do PPGE e PPGATC.

À CAPES pelo apoio à pesquisa.

*“A vida é o que acontece com você quando você está ocupado fazendo outros planos”*

John Lennon



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de forma organizado em subsistemas, elementos e componente .....	8
Figura 2 - Elementos que compõem o sistema de formas de madeira .....	13
Figura 3 - Instruções de execução de serviço .....	17
Figura 4 - Sequência de montagem do sistema de formas .....	17
Figura 5 - Detalhe do pilar do projeto construtivo de formas de madeira .....	20
Figura 6 - Ciclo de vida da edificação ao redor do modelo de informação da construção.....	24
Figura 7 - Usos de BIM .....	25
Figura 8 - Camadas da arquitetura do IFC .....	32
Figura 9 - Classificação do comportamento das famílias .....	41
Figura 10 - Esquema de Famílias no REVIT: do Sistema, Carregáveis e Locais .....	42
Figura 11 - Categorias de famílias do REVIT .....	43
Figura 12 - Instâncias dos tipos de família do REVIT / Aba de Propriedades de tipo .....	43
Figura 13 - Planos de referência que definem o "esqueleto" da Família .....	45
Figura 14 - Exemplificação do uso de cadeados (amarrações) entre a geometria e os planos de referência para fundo de viga no esqueleto da família .....	46
Figura 15 – Delineamento adotado do método de pesquisa construtiva .....	48
Figura 16 - Inserção dos ciclos de desenvolvimento na metodologia de pesquisa.....	53
Figura 17 - Criação de componentes básicos .....	58

Figura 18 - Categorias de famílias do REVIT STRUCTURE.....	60
Figura 19 - Famílias de componentes básicos para famílias de pilar .....	61
Figura 20 - Famílias de formas de pilar.....	62
Figura 21 - Famílias de forma de viga.....	63
Figura 22 - Famílias de formas de laje .....	64
Figura 23 - Sequência de modelagem da forma de pilar na estrutura .....	66
Figura 24 - Sequência de modelagem da forma de viga na estrutura.....	67
Figura 25 – Sequência de modelagem da forma de laje na estrutura .....	68
Figura 26 – Modelo Estrutural com inclusão das formas .....	69
Figura 27 - Classificação específica para montagem ou assembly .....	69
Figura 28 - Documentação através de Montagens ou Assemblies .....	70
Figura 29 - Processo de modelagem do PCFM .....	70
Figura 30 - Elementos de anotação em 2D.....	71
Figura 31 - "Rotulação" dos parâmetros das famílias de formas – parte 1.....	76
Figura 32 - "Rotulação" dos parâmetros das famílias de formas – parte 2.....	77
Figura 33 - Revisão da documentação da modelagem através das tabelas de quantitativos .....	78
Figura 34 - Estrutura Analítica do modelo do NAVISWORKS .....	84
Figura 35 - Simulação 4D do sistema de formas.....	86
Figura 36 - EAP para o planejamento do Modelo .....	87



Figura 37 - Hierarquização .....	88
Figura 38 – Simulação da montagem das formas de pilar.....	89
Figura 39 – Animação das etapas construtivas.....	89
Figura 40 – Compreensão do modelo estrutural na ferramenta REVIT STRUCTURE .....	94
Figura 41 – Adequação da forma de representação dos planos estruturais do REVIT STRUCTURE.....	94
Figura 42 – Opinião sobre a utilidade da biblioteca de forma de concreto armado .....	95
Figura 43 – Nível de dificuldade declarado para a modelagem de formas de pilar .....	96
Figura 44 - Nível de dificuldade declarado para a modelagem de formas de viga .....	96
Figura 45 - Nível de dificuldade declarado para a modelagem de formas de laje .....	97
Figura 46 – Sequência da concretagem em 4D .....	98
Figura 47 – Formas de pilar executadas .....	99
Figura 48 – Formas de laje executadas.....	100



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Categorias do subsistema de pilar .....	10
Tabela 2 - Categorias do subsistema de vigas .....	11
Tabela 3 - Categorias do subsistema de laje.....	12
Tabela 4 - Dimensões padronizadas e comerciais de Madeira Serrada.....	15
Tabela 5 - Levantamento de plataformas BIM.....	27
Tabela 6 - Entidades dos Domínios IFC relacionados .....	34
Tabela 7 - Descrição dos tipos de parâmetros do REVIT .....	74
Tabela 8 - Composição de serviço de formas.....	80
Tabela 9 - Cronograma do ciclo de concretagem.....	88



## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

2D	2 Dimensões
3D	3 Dimensões
4D	4 Dimensões
<i>AIA</i>	<i>American Institute of Architects</i>
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
API	<i>Aplication Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	Construção Civil
CSV	<i>Comma-separated values</i>
DWG	<i>Drawing</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
DGN	<i>Design</i>
SAT	<i>Standard ACIS Text</i>
DWF/DWFX, ADSK	<i>Design Web Format</i>
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>

IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
MEP	<i>Mechanical, eletrical and plumbing</i>
NBR	Norma Brasileira
ODBC	<i>Open DataBase Connectivity</i>
PCFM	Projeto Construtivo de Formas de Madeira
RFA	<i>REVIT Family</i>
RFT	<i>REVIT Family Template</i>
TXT	<i>Text</i>
VBA	<i>Visual Basic for Application</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$largura\_painel$	Largura dos painéis do pilar
$largura\_sarraf$	Largura dos sarrafos
$Num\_Erig$	Número de enrijecedores na vertical do componente pilar
$Num\_Travamentos$	Número de travamentos horizontais do componente pilar

pe\_direito

Pé direito do pavimento tipo



# 1 INTRODUÇÃO

---

O profissional do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) trabalha com um universo extenso de informações. Por isso, as Tecnologias da Informação e Comunicação aliadas ao Desenho técnico e o Processo de projeto, trazem grandes benefícios ao setor. Introduzindo um potencial para a agilidade, a qualidade e a eficiência quando essas áreas do conhecimento técnico são bem alinhadas.

É conhecido que o fluxo da informação de um projeto na AEC compreende uma sequência de atividades multidisciplinares que requerem a colaboração de variadas equipes de especialistas. Dessa forma, é sempre necessária a cooperação desses participantes para que um projeto seja bem concebido e garanta a satisfação do cliente (PANIZZA; RUSCHEL, 2004; PICCHI; AGOPYAN, 1993; XUE *ET AL.*, 2012). A quebra de paradigmas resultantes da modelagem da informação da construção (*Building Information Modeling*, BIM), segundo Eastman (2011), está nas novas tecnologias e novos processos para o setor de AEC. Pois, BIM possibilita o desenvolvimento de um ou mais modelos virtuais de informação da construção, além de facilitar um processo de projeto e construção mais integrado e colaborativo.

A abordagem do presente trabalho é a de aliar a modelagem da informação da construção a um tipo de projeto que entende e detalha o processo construtivo de uma edificação. A disciplina escolhida foi a do Projeto Construtivo de Formas de Madeira (PCFM) para estruturas de concreto armado. Esta é uma disciplina existente no mercado da construção nacional atual e que acompanha a grande demanda de estruturas de concreto armado existente no país.

Existem variados Sistemas de Formas no mercado nacional, assim como uma extensa bibliografia a respeito do assunto (CRISTIANI, 1995; FAJERSZTAJN, 1987; REQUENA, 1983; SH FÔRMAS, 2000). Porém, é conhecido que a área carece de profissionais especializados (MARANHÃO, 2000 p. 10), além de tecnologias que auxiliem os projetistas a detalharem de forma gráfica e inteligível os elementos que compõem esses sistemas.

Essas ferramentas são essenciais no sentido de facilitar a compreensão do projeto como forma de melhoria ao processo construtivo como um todo (KANNAN; SANTHI, 2013).

## **1.1 Definição do Problema de Pesquisa e Justificativa**

A escolha do sistema de formas para uma estrutura de concreto armado é de vital importância no processo construtivo de um edifício. Isso ocorre devido a dois fatores principais. Primeiramente pelo valor que esse item impacta no custo global da obra, que pode chegar a até aproximadamente 12%. Por último, em relação ao prazo, pois a fase de montagem e desmontagem de todas as estruturas de formas correspondem de 50% a 60% do prazo de elevação da estrutura (MARANHÃO, 2000; NAZAR, 2007, p. 30).

No Brasil, as estruturas de concreto armado preponderam sobre os outros tipos de estruturas. Isso pode ser evidenciado segundo Maranhão (2000) pela relação existente entre os volumes, áreas construídas e o consumo de cimento no país. Consequentemente, as estruturas provisórias de formas para o concreto são muito comuns dentre os nossos processos construtivos, fazendo com que o seu dimensionamento e processo construtivo equiparem-se à importância dada às estruturas de concreto armado.

Cada método construtivo do sistema de formas para um edifício possui suas características e componentes específicos. As formas de madeira possuem história dentre os sistemas de formas adotados há muitos anos no Brasil. A madeira é a principal matéria prima para esse tipo de estrutura. Seu consumo passou a ser otimizado após a substituição das tábuas de Pinho do Paraná pelas chapas de madeira compensada (CRISTIANI, 1995; MARANHÃO, 2000).

A busca pela economia na execução de um processo construtivo como esse é um assunto bastante abordado pela literatura (ALEXANDER, 2002; HORNER; THOMSON, 1981; NAZAR, 2007, p.76-93). Isso justifica a busca pela racionalização desse processo construtivo como um todo, abordando os aspectos de custo, prazo e qualidade dentro do escopo da estrutura da edificação. Dessa forma, ter estruturas de concreto armado mais

baratas, com maior controle de qualidade e mais seguras, dependem diretamente dos processos envolvendo suas formas correspondentes.

Existem no mercado vários sistemas de forma. O sistema mais conhecido e empregado na construção civil brasileira é o convencional, constituído de chapas de madeira compensada (plastificada ou resinada) e cimbramentos mistos, podendo ser metálicos ou de madeira. Esse sistema é vastamente adotado pela sua facilidade na fabricação, montagem e baixo custo. As características que todos os sistemas de formas devem possuir são:

- Resistência a cargas provenientes do seu peso próprio, do concreto, da armação e das demais cargas acidentais provenientes de trabalhadores e equipamentos sobre o sistema;
- Rigidez para que não se deforme sob as ações descritas acima, além dos limites permitidos;
- Estanqueidade, evitando a perda de finos durante a concretagem e garantindo o acabamento superficial desejado;
- Segurança aos operários quanto ao risco de quedas, ruína e operação no momento de concretagem, armação e montagem da estrutura da forma.

Para que sua fabricação seja racionalizada, existem especialistas em estruturas de madeira que desenvolvem projetos e especificações para tal sistema de formas. Porém, a maioria desses especialistas, utilizam ferramentas computacionais baseadas em *Computer Aided Design* (CAD), na sua maioria em duas dimensões, i.e., no desenho 2D. Na busca pela otimização e precisão no projeto é natural voltar-se para o paradigma de BIM que se fundamenta na modelagem e simulação do modelo de informação da construção capaz de ser compartilhado e acompanhado de forma interativa no processo de projeto. A construção destes modelos se dá por meio da instanciação, agregação e relação de objetos definidos por um sistema de componentes parametrizados contendo as informações da construção. Neste trabalho, foram desenvolvidos componentes de formas em uma ferramenta BIM e criou-se um método para a documentação, quantificação e a simulação do modelo 3D no tempo (4D) do PCFM.

Sendo assim, o processo do projeto de formas se subdivide em três etapas: (i) Modelagem, (ii) Quantificação e (iii) Simulação 4D. Essas três são conhecidas como usos de BIM (MANNING; MESSNER, 2008).

## **1.2 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é incorporar os preceitos da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no Projeto Construtivo de Formas de Madeira (PCFM).

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

Deseja-se propor uma biblioteca de componentes dos sistemas construtivos das formas de madeira, aplicando-a ao PCFM adotando uma ferramenta BIM para o processo e validando o mesmo para um contexto BIM de projeção em ciclos de abstração dos conceitos teóricos e práticos deste paradigma. Os ciclos de abstração propostos são relativos aos usos de BIM: a modelagem, a quantificação e a simulação 4D delineados por Manning e Messner (2008).

Vislumbra-se também dar suporte a futuras pesquisas abordando os conceitos de parametrização de componentes de construção para o mercado nacional.

## **1.3 Estruturação do texto**

Essa dissertação se estrutura em nove capítulos. O primeiro compreende a introdução do trabalho, abordando as justificativas da pesquisa e os objetivos da mesma.

O segundo Capítulo está embasado em uma revisão bibliográfica compreendendo quatro seções: sistemas de formas, a madeira para as estruturas de formas, o projeto construtivo e a modelagem da informação da construção. A primeira seção aborda os conceitos básicos dos sistemas de formas existentes e presentes no mercado nacional da construção, assim como identifica as normativas e exigências para se ter uma estrutura provisória adequada à execução dos serviços de concretagem. A segunda seção compreende as características e vantagens do material mais empregado para a execução de formas para concreto, a madeira. A terceira seção compreende o estudo do Projeto como auxiliar do processo produtivo na

construção civil, abordando-o de duas maneiras: *Projeto da Produção* e *Projeto para Produção*. Por fim, a quarta seção da revisão bibliográfica aborda os conceitos acerca da modelagem da informação. Primeiramente, é apresentado os potenciais que BIM pode trazer aos processos das organizações do setor de AEC. Em seguida são apresentados alguns conceitos das ferramentas BIM presentes hoje no mercado. Essa revisão dá embasamento a compreensão da metodologia desenvolvida no presente trabalho.

O terceiro capítulo compreende a apresentação da metodologia de pesquisa adotada. É mostrado as fases e ciclos de desenvolvimento que compreendem a Pesquisa Construtiva, a qual foi adotada como metodologia para a condução das atividades da pesquisa.

O quarto capítulo aborda a descrição da fase de desenvolvimento da Modelagem desenvolvida durante a pesquisa, embasando-se nos conceitos da ferramenta utilizada e os ciclos de abstração da metodologia adotada.

O quinto capítulo apresenta a etapa de Quantificação do PCFM, embasando-se também nos conceitos relacionados a essa etapa do projeto

O sexto capítulo mostra o estudo da Simulação 4D para o PCFM. Nesse capítulo são mostrados alguns conceitos das ferramentas que dispõem de recursos para fazer a simulação, animação e o gerenciamento da informação da construção através de modelos virtuais.

O sétimo capítulo compreende, ao final das etapas de desenvolvimentos, a ponderação das aplicações do trabalho que podem dar luz à área de conhecimento, tanto de maneira prática como teórica.

Ao final, no oitavo e nono capítulos são apresentadas, respectivamente, as contribuições do trabalho e a conclusão. Por último tem-se as referências bibliográficas e apêndices, incluindo documentos do processo de projeto do PCFM incorporando BIM.



## 2 Síntese da bibliografia fundamental

---

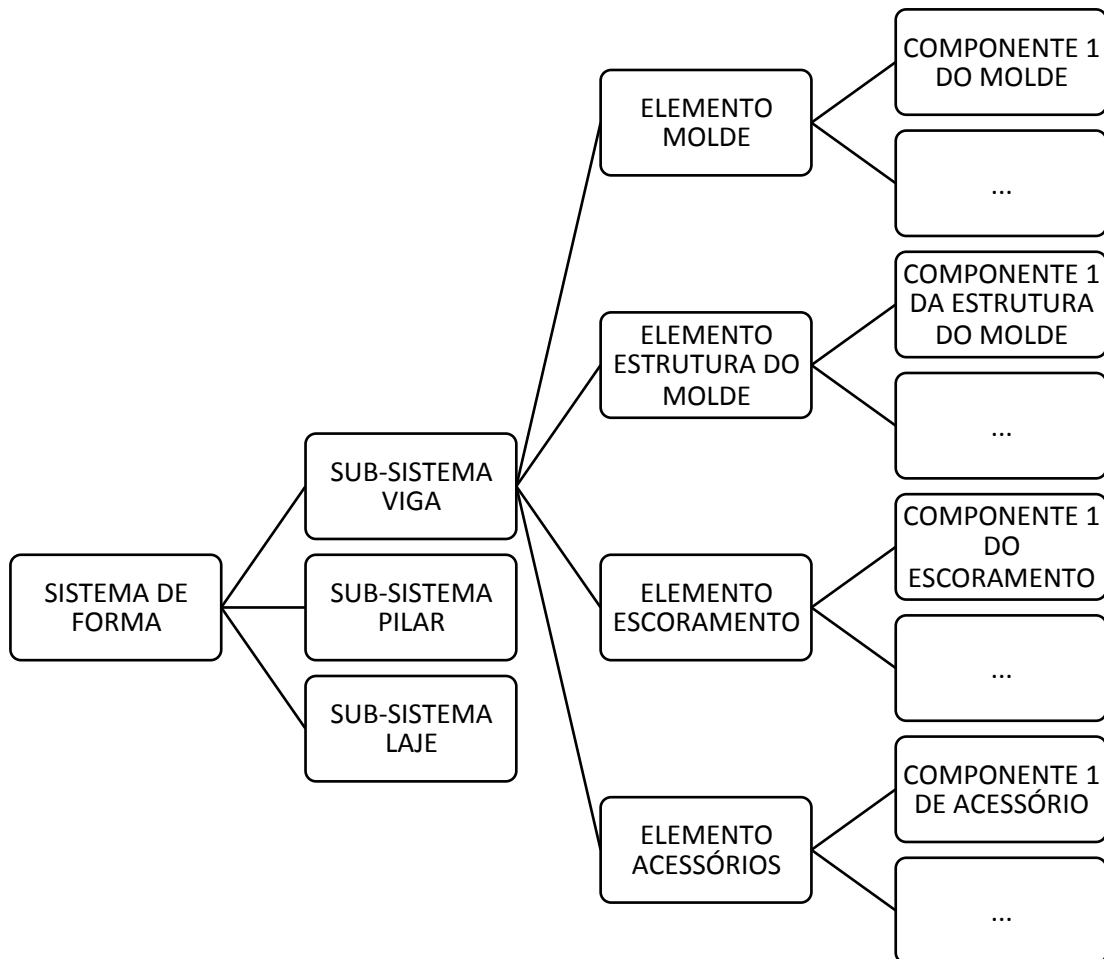
### 2.1 Sistemas de formas

Segundo Cristiani (1995), um sistema de fôrmas deve possuir resistência para suportar cargas provenientes do seu peso próprio, do peso do concreto durante seu lançamento, do aço da estrutura de concreto armado e das cargas acidentais de tráfego de pessoas durante a sua concretagem. Duas normativas nacionais são utilizadas para o dimensionamento das estruturas de forma de madeira. Estas são a ABNT NBR 7190:1997 de estruturas de madeira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) e a NBR 15696:2009 de fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Segundo Boin (1993), o material de maior versatilidade na construção civil é a madeira, podendo ser largamente empregada para a confecção de formas, pois possui a melhor trabalhabilidade para moldagem das estruturas de concreto nas formas desejadas. Essa característica da madeira, juntamente com o aparecimento das chapas compensadas, possibilitou a racionalização da utilização da madeira no processo construtivo de formas; pois anteriormente, utilizavam-se tábuas de Pinheiro do Paraná (*Araucária augustifolia*) que necessitavam de acessórios para emendas devido ao seu padrão de dimensão (30 cm ou 12”) (MARANHÃO, 2000; MORIKAWA; DEMARZO, 2003; NAZAR, 2007). Diferentemente, de tábuas, as chapas compensadas podem ser industrializadas em dimensões maiores (1,22 m x 2,44 m, 1,10 m x 2,20 m) e também podem ser revestidas de uma camada de filme plástico, possibilitando maior reutilização.

Os sistemas de formas possuem geralmente três categorias em comum. Segundo Fajersztajn (1987), todo sistema de forma é categorizado em subsistemas, sendo esses de: (a) Vigas, (b) Pilares e (c) Lajes. Dentro de cada subsistema, têm-se os elementos que são: o molde, a estrutura do molde, o escoramento e os acessórios. Dentre cada elemento tem-se os componentes que podem variar a partir do sistema de forma adotado, podendo ser faces laterais de viga, fundo de viga, gravatas e etc (Figura 1).

**Figura 1 - Sistema de forma organizado em subsistemas, elementos e componente**



**Fonte: do autor**

Os principais sistemas de formas de madeira utilizados no Brasil são: (i) o da Associação Brasileira de Cimento Portland, os (ii) sistemas oriundos do Sistema de Toshio Ueno e (iii) os sistemas mistos.

O sistema da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) foi editado em 1943 e definiu um sistema específico utilizando componentes de madeira seguindo as seguintes diretrizes para a montagem do sistema:

1. Seguir rigorosamente as dimensões indicadas no projeto, contemplando as resistências necessárias, sem que haja deformações excessivas oriundas dos carregamentos de pesos próprio da estrutura, o peso e pressão do concreto fresco, do



peso das armaduras e das cargas acidentais. Na ocasião de grandes vãos, devem ser previstas sobre-elevações (contra flecha) para compensar deformações inevitáveis.

2. Ser estanque, no propósito de evitar a perda de cimento do concreto arrastado pela água. Isso deve ser cuidado com a minimização de fendas na estrutura da forma, atentando para as ligações que formem ângulos.
3. Possibilitar a desforma da forma a se evitar choques. Para tal, o escoramento deve ser apoiado sobre cunhas ou outros dispositivos facilmente removíveis.
4. Possibilitar o maior número possível de reutilizações das peças.
5. Empregar madeira aparelhada, nos moldes em que a estrutura de concreto será aparente.

No sistema da ABCP, assim como nos outros sistemas, os elementos são compostos na sua grande maioria de peças estruturais de madeira, necessitando da norma ABNT NBR 7190 para o dimensionamento das mesmas.

A racionalização do sistema ABCP se tornou menos eficaz por volta da década de 1960, como já mencionado anteriormente, com o aparecimento das chapas de compensado no mercado brasileiro. Segundo Requena (1986 apud MORIKAWA; DEMARZO, 2003), a edição do texto alemão *Der Prackische Zimmerer* no ano de 1949 trouxe inovações aos sistemas de forma, como a substituição das gravatas pregadas por gravatas parafusadas facilitando a desforma dos pilares. Outras inovações apareceram no ano de 1966 com a publicação do texto de Frederick Snow (1966) adotando sistemas de forma deslizantes, além da utilização de espaçadores plásticos e tirantes de aço. A utilização modular de chapas de madeira compensada estruturadas por sarrafos, minimizou a utilização de pregos na confecção das formas e é largamente adotada, até hoje, como principal componente das formas.

No Brasil essas inovações relacionadas aos sistemas de formas e o projeto foram acompanhadas pelo sistema de formas de Toshio Ueno também na década de 1960. Posteriormente, foram aperfeiçoadas pela Assahi Engenharia desde a década de 1980, incorporando conceitos do sistema ABCP e da evolução das práticas de formas no Brasil. O sistema da Assahi Engenharia, assim como o Sistema Ueno, incorpora a utilização de

compensados de 18 mm, resinados ou plastificados e estrutura o sistema de formas como um todo com foco na produtividade e a melhoria contínua no controle de qualidade da execução das formas (ASSAHI, [s.d.] a).

Os sistemas de formas da Assahi Engenharia e de Toshio Ueno serão os sistemas objeto de estudo do presente trabalho pelas suas vantagens e especificidades que são pertinentes ao desenvolvimento dos sistemas construtivos existentes, utilizando para isso a Modelagem da Informação da Construção. Essas vantagens e especificidades são segundo Morikawa e Demarzo (2003): (i) necessidade de uma mão de obra pouco especializada para a fabricação dos componentes; (ii) baixo desperdício de materiais; (iii) facilidade para montagem e desmontagem do sistema e (iv) existência de um projeto técnico especificando materiais e quantidades a serem utilizadas, além de um plano de corte para a confecção.

As categorias do Sistema de Assahi e Ueno são listadas e caracterizadas nas Tabelas 1, 2 e 3 e ilustradas na Figura 2:

**Tabela 1 - Categorias do subsistema de pilar**

SUBSISTEMA	ELEMENTO	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
<b>PILAR</b>	Molde	Painéis frontais	Superfícies planas de várias dimensões constituídas de compensados de 1,22 x 2,44 m de 18 mm de espessura, podendo ou não ser ligados por sarrafos de 2,5 x 5 cm ou 2,5 x 7,5 cm
		Painéis laterais	Painéis que formam a face lateral do pilar, sendo unidas por sarrafos de 2,5 x 7,5 cm pregados de chato (deitados).
	Estrutura do molde	Gravatas	Peças destinadas a reforçar a estrutura da forma para os esforços do lançamento do concreto, constituindo de dois sarrafos justapostos de 2,5 x 10 cm, presos em intervalos por barras de ancoragem
		Gastalho	Peças destinadas ao reforço estrutural dos pilares contra os esforços do lançamento do concreto, constituindo-se de sarrafos de 2,5 x 7,5 cm
	Escoramentos	Mão francesa e tirantes	São peças inclinadas de sarrafos de 2,5 x 10 ou 2,5 x 15 ou metálicas, resistindo a compressão nos painéis laterais dos pilares
		Calços	Peças apoiadas sobre o solo constituídas de pedaços de madeira de 30 cm para receber os esforços das escoras e garfos

Fonte: do autor

**Tabela 2 - Categorias do subsistema de vigas**

SUBSISTEMA	ELEMENTO	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
VIGAS	Molde	Painéis	Superfícies planas de várias dimensões constituídas de compensados de 1,10 m x 2,20 m ou 1,22 x 2,44 m de 18 mm de espessura, podendo ou não ser ligados por sarrafos de 2,5 x 5 cm ou 2,5 x 7,5 cm
		Fundos de vigas	Painéis que formam a face inferior das vigas, sendo unidas por sarrafos de 2,5 x 7,5 cm pregados de chato (deitados)
	Estrutura do molde	Gravatas	Piçãs destinadas a reforçar a estrutura da forma para os esforços do lançamento do concreto, constituindo de dois sarrafos justapostos de 2,5 x 10 cm, presos em intervalos por barras de ancoragem
		Garfos	Suporte das formas das vigas, constituídos de dois pontaletes justapostos de 7,5 x 7,5 cm ou um pontalete metálico em que se apoiam sarrafos de 7,5 x 10 até 20 cm dependendo da altura da viga a ser apoiada
	Escoramentos	Contraventamentos	Estruturas destinadas a realizar o travamento da estrutura geral da forma e evitar os deslocamentos, podendo ser constituída de sarrafos horizontais ou inclinados
		Barra de ancoragem, porca e presilha	Acessórios metálicos para a estruturação das gravatas justapostas aos fundos de vigas

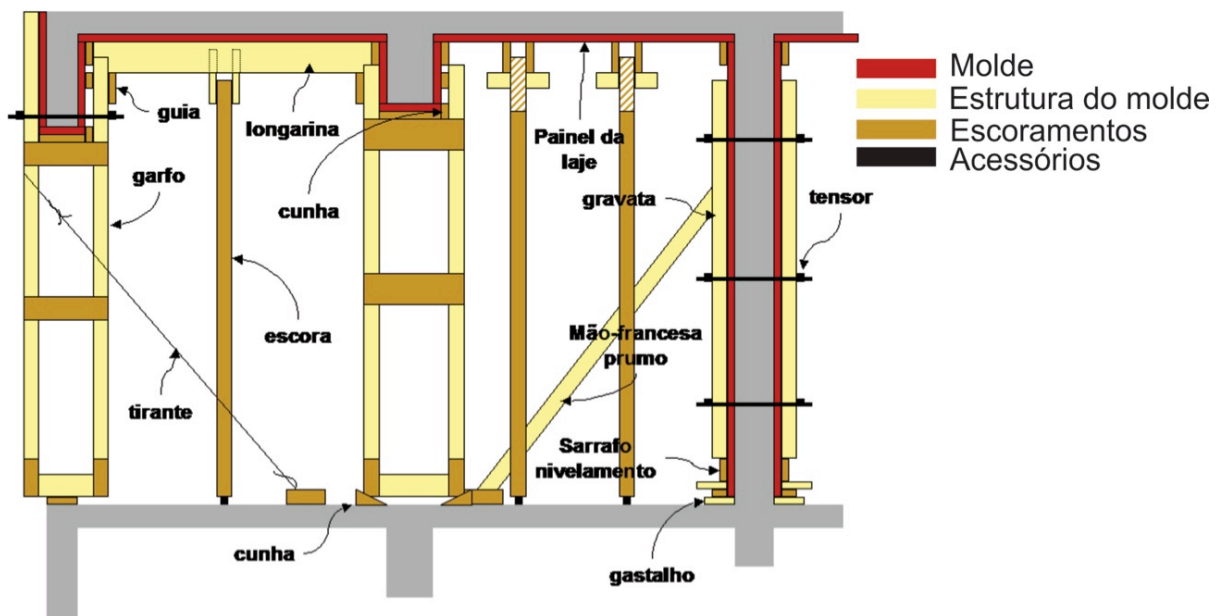
Fonte: do autor

**Tabela 3 - Categorias do subsistema de laje**

SUBSISTEMA	ELEMENTO	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
<b>LAJES</b>	Molde	Painéis	Superfícies planas de várias dimensões constituídas de compensados de 1,10 m x 2,20 m ou 1,22 x 2,44 m de 18 mm de espessura, podendo ou não ser ligados por sarrafos de 2,5 x 5 cm ou 2,5 x 7,5 cm
	Estrutura do molde	Transversinas	Peças de suporte aos painéis de laje, constituídas de dois sarrafos de 2,5 x 15 cm justapostos ou vigas metálicas servindo como vigas contínuas apoiadas nas guias
	Escoramentos	Guias	Peças em que se apoiam as transversinas, constituindo-se de dois sarrafos de 2,5 x 15 cm justapostos ou vigas metálicas que se apoiam nos garfos ou pontaletes
		Escoras	Peças que recebem os esforços das transversinas que apoiam a laje, podendo ser constituídas de pontaletes de 7,5 x 7,5 cm ou pontaletes metálicos com mesmo comprimento por toda a laje
		Torres	Estruturas metálicas destinadas a mesma função das escoras, porém atendendo a miores pé-direitos
		Calços	Peças apoiadas sobre o solo constituídas de pedaços de madeira de 30 cm para receber os esforços das escoras e garfos
		Contraventamento	Estruturas destinadas a realizar o travamento da estrutura geral da forma e evitar os deslocamentos, podendo ser constituída de sarrafos horizontais ou inclinados

**Fonte: do autor**

Figura 2 - Elementos que compõem o sistema de formas de madeira



Fonte: (FORMAS PARA..., [s.d.])

A produtividade de um sistema de forma, aliada ao prazo de execução são fatores fundamentais para a escolha do sistema de formas a ser adotado pela obra. Porém, o que podemos afirmar é que sistemas de formas mais resistentes, duráveis e capazes de maior produtividade como as formas metálicas só se validam economicamente dentro de algumas restrições (NAZAR, 2007, p. 92). Esses sistemas construtivos merecem destaque no processo de projeto de formas para edifícios de concreto armado de múltiplos pavimentos, quando no caso de obras de muito curto prazo, baixo grau de variabilidade e alto número de reutilizações. Como sabemos que essa não é a realidade da maioria das obras brasileiras, principalmente no mercado imobiliário residencial onde o diferencial é a variação no layout dos apartamentos, cabe aí a aplicação da modelagem da informação da construção do PCFM para incorporar produtividade e precisão neste processo de projeto. Essa abordagem auxilia também o uso da simulação 4D para a análise do planejamento relativo ao sequenciamento de montagem do sistema de formas dentro de um canteiro de obras.

## **2.2 Madeira para estruturas de formas**

A forma é um sistema estrutural provisório, dimensionado para ser utilizado durante a fase de construção da edificação. Dessa forma, é justificável se utilizar materiais que sejam reutilizáveis e que sejam adaptáveis às necessidades da estrutura. A madeira como uma fonte de matéria prima natural renovável é largamente adotada, principalmente em nosso país, que possui grande área de aproveitamento dessa matéria prima. As duas formas mais utilizadas desse material na construção civil em formas atualmente é a madeira serrada e a madeira compensada.

As propriedades mais importantes da madeira para as estruturas de formas são, a resistência (flexão, tração e cisalhamento), rigidez (deformações), acabamento e economia (preço inicial e número de reutilizações) (CALIL JÚNIOR; LAHR; BRAZOLIN, 2007).

Na especificação dos materiais no PCFM deve ser identificada qual a madeira a ser empregada na estrutura das formas. A madeira serrada constitui grande parte da estruturação da forma, enquanto que a madeira compensada constitui o molde da forma, ou seja, a parte da estrutura da forma que entra em contato direto com o concreto. Essas características foram inseridas nos componentes criados para o trabalho sob o parâmetro do tipo “Material”.

### **2.2.1 Madeira serrada**

Segundo Calil Júnior (2000), a madeira do Pinho do Paraná era a madeira mais utilizada na confecção das formas. Porém, a diminuição da oferta dessa madeira no mercado acarretou o aumento de preço da mesma e o consequente aumento do preço do custo das formas utilizando dessa madeira. Atualmente a madeira mais empregada na confecção das formas é o conhecido “cedrilho”, que na verdade consiste em uma variação de 15 espécies com propriedades semelhantes e que atendem as necessidades da construção civil (ZENID, 2009). O pinus também vem mostrando vantagens e sendo empregado como matéria prima na confecção dos sistemas de formas (CALIL JÚNIOR, 2000).

Comercialmente, a madeira serrada possui alguns padrões de medida e nomenclatura que variam em diferentes regiões do país. A Tabela 4 apresenta algumas dessas nomenclaturas e medidas encontradas comercialmente no Brasil.

**Tabela 4 - Dimensões padronizadas e comerciais de Madeira Serrada**

Dimensões de Madeiras Serradas (cm)		
Tipos	PB-5	Comerciais
<b>Pranchões</b>	15,0 x 23,0	3,0 x 30,0
	10,0 x 20,0	4,0 x 20,0 até 4,0 x 40,0
	7,5 x 23,0	6,0 x 20,0 até 6,0 x 40,0
		9,0 x 30,0
<b>Vigas</b>	15,0 x 15,0	5,0 x 16,0
	7,5 x 15,0	6,0 x 12,0
	7,5 x 11,5	6,0 x 15,0
	5,0 x 20,0	6,0 x 16,0
	5,0 x 15,0	10,0 x 10,0
		12,0 x 12,0
		20,0 x 20,0
		25,0 x 25,0
<b>Caibros</b>	7,5 x 7,5	25,0 x 30,0
	7,5 x 5,0	5,0 x 5,0
	5,0 x 7,0	5,0 x 6,0
	5,0 x 6,0	6,0 x 6,0
<b>Sarrafos</b>	3,8 x 7,5	7,0 x 7,0
	2,2 x 7,5	2,0 x 10,0
		2,5 x 10,0
<b>Tábuas</b>	2,5 x 23,0	3,0 x 15,0
	2,5 x 15,0	
	2,5 x 11,5	
<b>Ripas</b>	1,2 x 5,0	1,9 x 10,0 até 1,9 x 30,0
		2,5 x 10,0 até 2,5 x 30,0

Fonte: Calil Júnior (2000, p. 8)

### **2.2.2 Madeira compensada**

Os avanços nas tecnologias de fabricação da madeira a partir da metade do século 20 possibilitaram o surgimento de novos produtos derivados da madeira. Um desses produtos é a madeira compensada. Esse produto veio a acrescentar grandes facilidades a construção civil devido a sua modulação padronizada (1,22 x 2,44 ou 1,10 x 2,20), grande resistência e

estanqueidade. Características fundamentais para o uso desse material nas estruturas de formas.

A fabricação desse derivado da madeira é feita com laminas extraídas por faqueamento da madeira bruta e adesivos sintéticos. A estruturação das chapas compensadas é feita com a sobreposição das laminas, obedecendo direções ortogonais entre as fibras de cada lamina. Essa estruturação garante às chapas de madeira compensada, propriedades como alta resistência e uma isotropia em relação à elasticidade do material. Isso é ensaiado e verificado através de análises feitas nas principais direções da chapa x e y.

## **2.3 Projeto Construtivo**

### ***2.3.1 Projeto voltado para a produção***

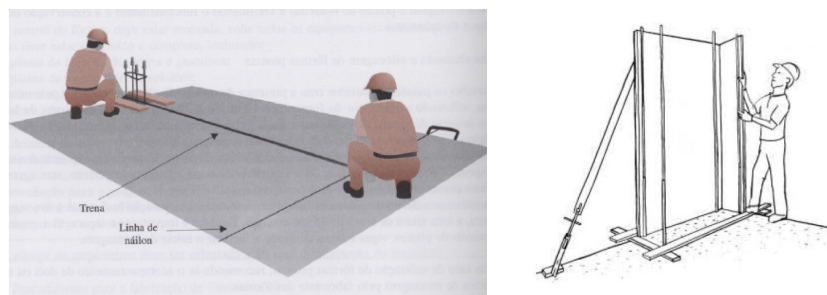
O Projeto na construção é algo primordial para a dispersão da informação no processo de construção de um edifício. A existência de um Projeto voltado para a produção é algo conhecido há alguns anos nos canteiros de obras brasileiras. Alguns autores, principalmente aqueles originários da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), publicaram inúmeros documentos voltados a esse campo de pesquisa e atuação no mercado da construção (BARROS, 1996; MELHADO; FABRÍCIO, 1998; SABBATINI; AGOPYAN, 1991; SILVA, 2003). Melhado e Fabrício (1998) discutem a diferença entre o Projeto da Produção e o Projeto para a Produção. Ambos estão voltados para a racionalização dos processos construtivos dentro da obra. Porém, possuem conceitos distintos e seus objetivos são complementares. Os mesmos autores definem o Projeto da Produção como sendo a:

*“[...] prescrição detalhada das técnicas construtivas, das ferramentas e dos materiais empregados em cada serviço, configurando padrões de referência a serem seguidos nas várias obras da empresa, além de tratarem dos requisitos para compra e recebimento dos materiais e componentes de construção.”(MELHADO; FABRÍCIO, 1998 p. 731)*



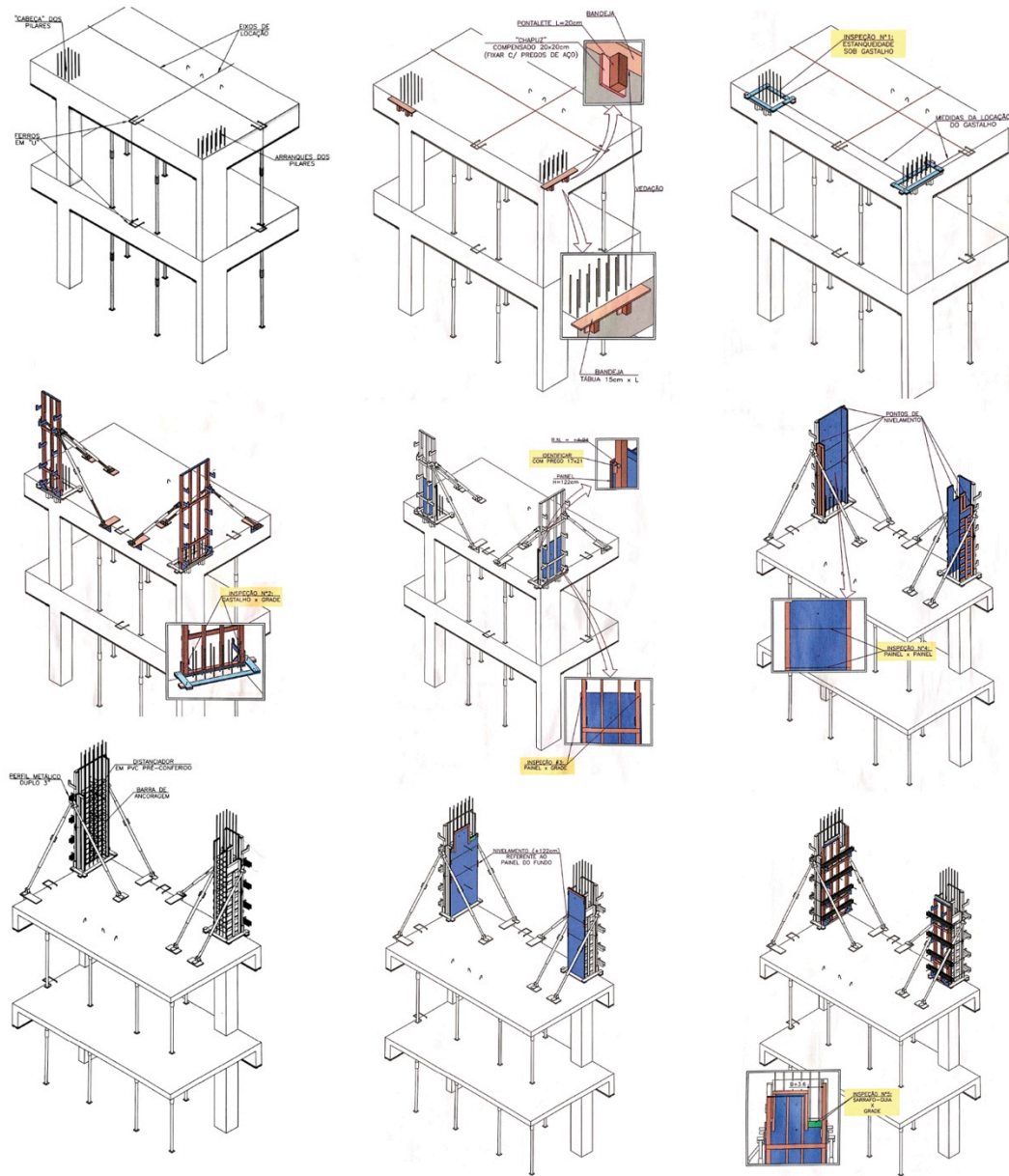
As Figura 3 e 4 ilustra instruções de serviço que conteriam as informações para o Projeto da Produção para o serviço de execução de formas para concreto armado praticados por uma determinada construtora.

**Figura 3 - Instruções de execução de serviço**



**Fonte: Associação Brasileira De Cimento Portland (2003)**

**Figura 4 - Sequência de montagem do sistema de formas**



Fonte: Assahi ([s.d] b)

Já o *Projeto para a Produção*, possui um conceito análogo aos conceitos de Projeto na indústria de transformação (de produtos seriados). O *Projeto para a Produção* possui o papel de auxiliar na coordenação e solução do produto, embasando-se em alternativas indicadas pelo processo produtivo no desenvolvimento dos Projetos do Produto.

Os dois conceitos apresentados se complementam, pois o *Projeto para a Produção* necessita das informações dadas pelo *Projeto da Produção* em determinados serviços, dando apoio às tecnologias construtivas empregadas em determinado empreendimento e assim, auxiliando no desenvolvimento tanto do *Projeto para Produção* quanto dos Projetos do Produto.

Dentro do mercado de construção civil, podemos exemplificar o Projeto do produto como sendo os projetos essenciais a idealização e aprovação de um produto no mercado de construção. Esses seriam projetos de arquitetura, estrutura e instalações. Já os projetos para a produção na construção civil seriam projetos como o de alvenaria, formas, revestimentos, layout de canteiro e etc.

Melhado e Fabrício (1998) ainda salientam a importância que existe no desenvolvimento simultâneo dos *Projetos para Produção* com os Projetos do Produto, pois assim é possível se ter maiores potenciais de racionalização e maior abertura para a adoção de novas tecnologias construtivas. Porém, como tais atividades envolvem diferentes profissionais e especialistas, cria-se a necessidade de uma maior integração durante o processo de desenvolvimento do produto.

### ***2.3.2 Projeto construtivo de formas***

Para o desenvolvimento desse trabalho, iremos denominar o *Projeto para Produção*, como *Projeto Construtivo*, restringindo-se ao *Projeto Construtivo de Formas de Madeira para Estruturas de Concreto Armado para Edifício de Múltiplos Pavimentos*, abreviando-se em *Projeto Construtivo de Formas de Madeira* (PCFM). O *Projeto da Produção*, será conceituado como os procedimentos e normas técnicas aplicadas ao sistema construtivo de Formas de Madeira mais utilizados no mercado. Esse projeto descreve o processo de montagem passo-a-passo dos elementos e quais os critérios de qualidade devem ser controlados. Essas etapas e descrições serão descritas posteriormente através da simulação 4D dos modelos de informação das formas modelados.

O Projeto Construtivo ganhou destaque no Brasil dentro dos canteiros de obra, através de iniciativas privadas de construtoras nas décadas de 1980 e 1990, como a iniciativa ENCOL-EPUSP (BARROS; MELHADO, 2006; SILVA, 2003). Essas parcerias entre a iniciativa privada e a academia renderam para o mercado de construção civil nacional, profissionais de projetos que até então inexistiam no mercado. Esses projetistas se especializaram em projetos tais como o Projeto Construtivo de Alvenaria de Vedação e o Projeto Construtivo de Formas para Concreto armado (Figura 5) (SABBATINI; AGOPYAN, 1991).

20

A racionalização do processo construtivo é outro intuito dessa categoria de projeto. Melhado e Fabrício (1998) defendiam que a fase de projeto é determinante no desenvolvimento de inovações em métodos construtivos, caracterizando-se como uma fase de planejamento e organização das informações da técnica construtiva a ser adotada em um empreendimento.

Outros autores já destacaram as facilidades e vantagens de se utilizar a simulação 4D para a coordenação das etapas construtivas (GELISEN, 2013; RECK; FORMOSO, 2013). Porém, essas vantagens só serão melhor aproveitadas com a existência de modelos de informação dos sistemas construtivos adotados. Esses modelos também devem conter informações suficientes para que possam refletir as realidades do canteiro de obras e as alternativas de tomadas de decisão sejam mais assertivas.

Essas informações estão presentes na documentação do Projeto Construtivo e devem seguir critérios rigorosos de representação para o bom entendimento da informação pelos envolvidos que farão uso dessa documentação. Esses critérios podem ser também correlacionados no processo de modelagem do PCFM.

O PCFM deve representar segundo Calil Júnior (2000) o “como” fazer. Já um planejamento do processo construtivo das formas deve definir o “o que” fazer, “onde” fazer e “quando” fazer. O planejamento deve ter início antes do desenvolvimento do projeto. Um exemplo de roteiro de planejamento do mesmo é proposto por Calil Júnior (2000).

Inicia-se pelo estudo e análise da estrutura projetada. Em seguida, propõem-se uma divisão da obra em zonas de serviço, em plantas e em cortes, em função de suas características semelhantes, quantidades aproximadas de serviços e os respectivos volumes destes. Tendo essas informações em mãos, é possível determinar os prazos mínimos de execução da fôrma e desforma em função do quantitativo de cada zona. Na próxima etapa estabelece-se os prazos ótimos para a execução total da estrutura, o cronograma e os planos de reutilização das fôrmas em função dos dados anteriores. Após essa etapa, prevê-se as quantidades de materiais necessários para a execução do projeto dos moldes, de acordo com

as áreas totais de fôrmas. Finalmente, prevê-se a necessidade de utilização de equipamentos pesados quando necessário.

Parte-se então para a etapa de projeto para determinar uma especificação básica para os materiais a serem utilizados na execução e estimativa do custo. Esses dados serão utilizados para comparações com dados existentes de obras anteriores e será possível a tomada de decisão para o início da obra.

O Projeto das formas deve indicar de forma clara à equipe que irá executar a obra, todas as informações e detalhes para sua precisa execução. Algumas indicações feitas por Calil Júnior (2000) que não devem faltar na documentação do projeto de forma são: ordens de comando em notas para descrever procedimentos e descrever atividades importantes; uniformidade de escalas; escrita legível; orientação para cotagem de peças e títulos; padronização de "lay-out" dos desenhos e símbolos; uso de vistas isométricas e detalhes específicos; tipologia de plantas, cortes e vistas da estrutura para orientação a execução; orientação para o detalhamento dos painéis e peças de cada subsistema de formas. Finalmente, os desenhos de fôrma devem permitir executar a estrutura sem dificuldades, sendo coerentes com os desenhos estruturais e de arquitetura, indicando os valores adotados de tensões, cargas, velocidade de concretagem, tipo de concreto, temperatura do concreto, etc.

## **2.4 Modelagem da Informação da Construção**

A modelagem orientada por objetos segundo Eastman et al. (2011) remonta da década de 1970. Essa tecnologia possibilitou a parametrização de objetos que são representações virtuais de componentes do mundo real. Já com o desenvolvimento da Tecnologia da Informação e Comunicação, surge o conceito de interoperabilidade. Esse conceito consiste na capacidade de comunicação sem perdas entre diferentes ferramentas computacionais. Esses dois conceitos norteiam o que é conhecido atualmente como Modelagem da Informação da Construção ou Building Information Modeling (BIM).

Esses avanços tecnológicos foram bem empregados pela indústria aeronáutica e aeroespacial para a minimização de erros e compatibilizações de componentes no Projeto<sup>1</sup>. Para a indústria da construção, os investimentos na área foram menos intensos e acabaram se voltando apenas para composições 2D, embasadas em plataformas de tecnologia de *Computer Aided Design* (CAD) (BAER; EASTMAN; HENRION, 1979; EASTMAN et al., 2011, p. 37).

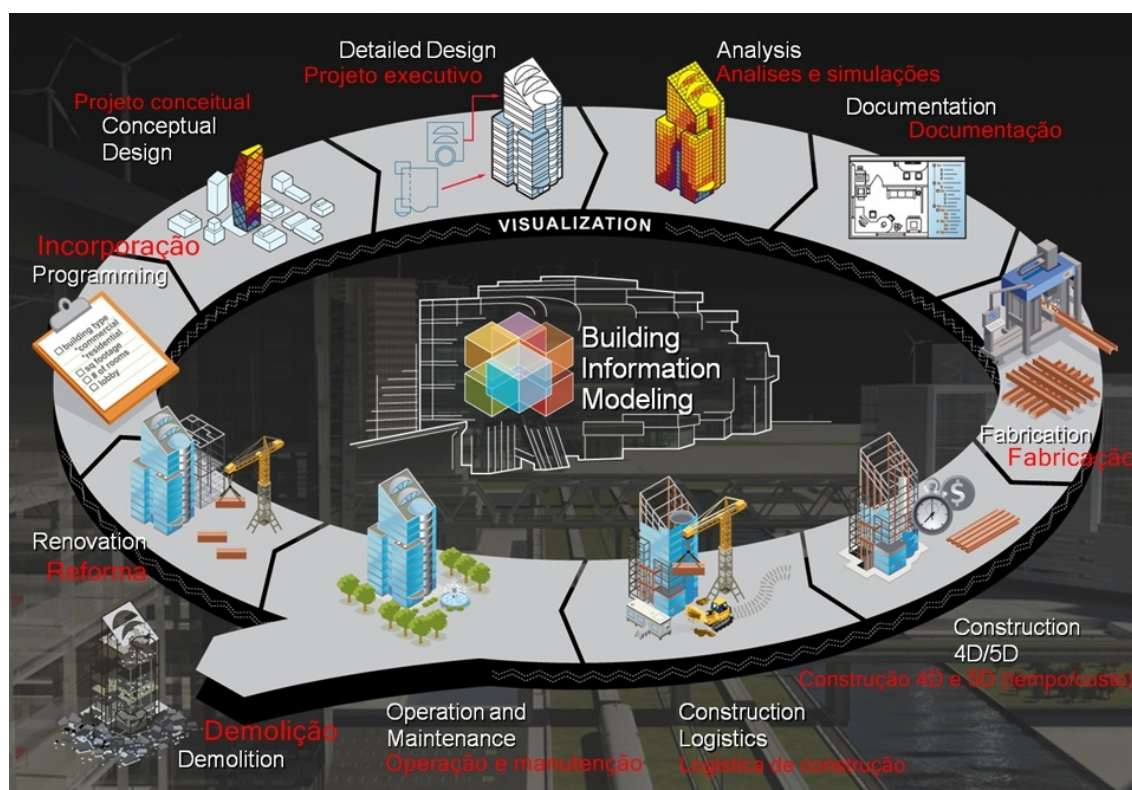
Esses dois conceitos foram incorporados a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção e Operação (AECO), possibilitando a parametrização e interoperabilidade entre as partes do produto. Tais inovações percorrem desde os aspectos da criação (BERNSTEIN, DEAMER; DAVIS, 2010; CORSER, 2010) a engenharia e produção do ambiente construído (JENSEN, OLOFSSON; JOHNSSON, 2012; TIIHONEN *et al.*, 1998).

O conceito incorporado à tecnologia BIM que mais propicia benefícios ao processo de projeto na indústria de AEC é a grande integração entre os agentes do processo de projeto, possibilitando uma melhor colaboração entre essas partes e agregando maior valor ao produto a ser desenvolvido utilizando-se dessa tecnologia. Isso pode ser bem ilustrado através da Figura 6 que representa o ciclo de vida da edificação sendo desenvolvida ao redor de um modelo de informação da construção central.

---

<sup>1</sup> Projeto é entendido nesse contexto como uma tradução de *Design*

**Figura 6 - Ciclo de vida da edificação ao redor do modelo de informação da construção**

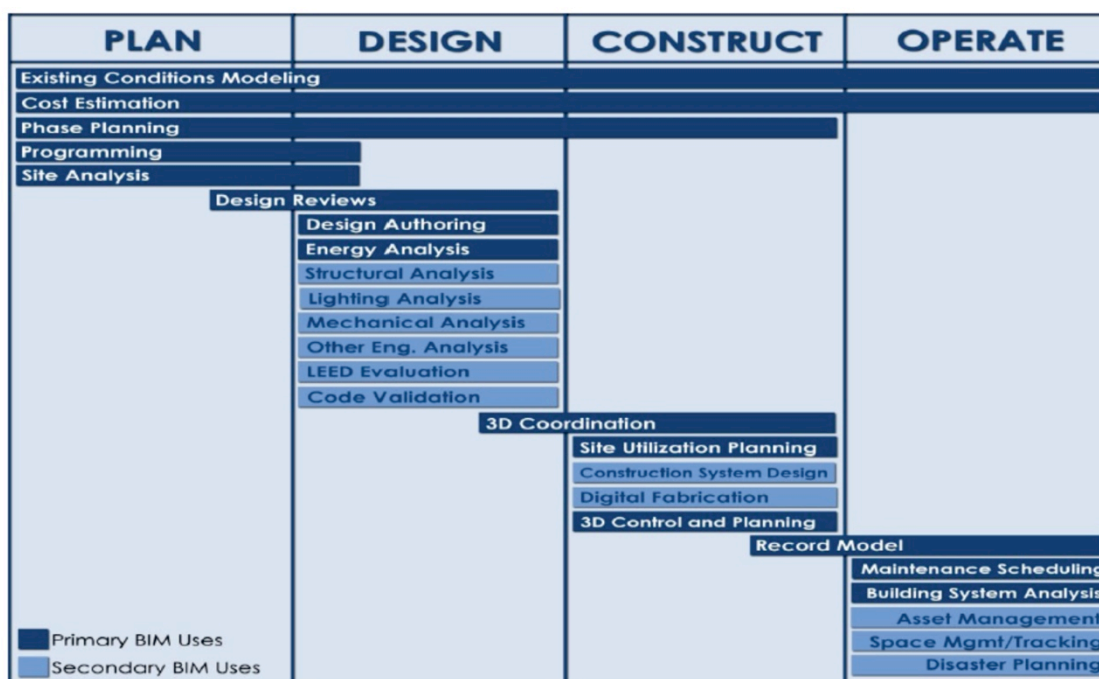


**Fonte: Adaptado de Eastman, (2011)**

Como se trata de um contexto muito amplo, BIM não se restringe a um determinado nicho de atuação ao longo do ciclo de vida da edificação. Sendo assim, essa área de estudo compromete diversas instituições no sentido de evoluir os conceitos e melhorar o uso que as tecnologias trazem para o dia-a-dia do mercado de AEC. A buildingSmart Alliance, instituição livre formada para regulamentar os padrões de comunicação entre os agentes de projeto BIM, redigiu, juntamente com outras instituições acadêmicas (CIC RESEARCH GROUP, 2010), um manual descritivo sobre a implantação de BIM em uma organização. Algumas considerações feitas nesse manual ditam diretrizes para o conhecimento de BIM. Dentre essas considerações e indicações, podemos destacar os “Usos de BIM” que abrangem todo o ciclo de vida da edificação (Planejamento, Projeto, Construção e Operação). Cada uso possui características específicas de cada fase de acompanhamento e gerenciamento da informação durante a construção de um edifício. Os usos de BIM mais encontrados no mercado estão identificados na Figura 7.



Figura 7 - Usos de BIM



Fonte: Cic Research Group, (2010, p. 9)

De acordo com a Figura 7, o Projeto dos Sistemas Construtivos (Construction System Design) encontra-se na fase de construção do ciclo de vida da edificação. O manual da buildingSmart apresenta um apêndice contendo a descrição de cada uso de BIM, com informações coletadas por diversos agentes a partir do ano de 2007. Para o caso do Projeto dos Sistemas Construtivos, o manual descreve que o mesmo se caracteriza por ser um processo pelo qual a ferramenta de projeto 3D é utilizada para o detalhamento e análise do edifício e seus sistemas construtivos, (ex: fôrmas, revestimentos, contenções, etc) no intuito de melhorar o planejamento do mesmo. O objetivo geral desse “uso” de BIM é o de aumentar a construtibilidade do sistema construtivo, aumentando a produtividade, a segurança do sistema construtivo e quebrando barreiras de comunicação. As ferramentas utilizadas são *softwares* de modelagem paramétrica e que requerem usuários com as habilidades de manipulação, navegação e revisão de um modelo e conhecimento dos sistemas construtivos e práticas usuais de cada serviço desenvolvido em um canteiro de obra para a tomada de decisão a respeito do sistema construtivo.

Sabendo que a inovação tecnológica na construção deve seguir as realidades locais (SABBATINI; AGOPYAN, 1991, p. 6), entendemos que partir dos sistemas construtivos mais básicos, como as formas de madeira para concreto armado, facilitam a dispersão do conhecimento tecnológico e o possível avanço do mesmo a partir dos artefatos e elementos criados para um universo menos complexo. O desenvolvimento de componentes BIM possibilita a quebra de barreiras de comunicação. Na situação do presente trabalho, seria facilitadora da comunicação entre o Projeto de Estruturas de Concreto Armado e o Projeto Construtivo de Formas de Madeira, evidenciando a integração e o potencial de um ambiente colaborativo de projeto.

Essa facilidade nas trocas de informações, fluxos de trabalho e otimização do processo de projeto, mais uma vez nos remete ao grau de potencialidade que a modelagem da informação traduz para a inovação tecnológica na construção civil nacional e nos processos construtivos como um todo.

#### ***2.4.1 Ferramentas BIM de modelagem***

Existem diversas ferramentas de modelagem BIM disponíveis no mercado. Cada ferramenta possui suas particularidades e funcionalidades específicas para um determinado processo de projeto. Os conceitos que devem estar presentes na ferramenta, para que essa possa ser considerada como uma ferramenta BIM são aquelas citadas por Eastman et al. (2011, p. 31-45): orientação por objetos, parametrização e a interoperabilidade do modelo entre diferentes ferramentas.

A parametrização de objetos pode abranger parâmetros geométricos e não-geométricos do mesmo. Os parâmetros existentes para cada um desses objetos definem a sua forma e o seu comportamento em relação a outros objetos presentes no modelo. Para a indústria de AEC esses objetos foram separados por classes que podem ser acrescentadas, modificadas e expandidas. As classes criadas seguem o padrão de utilização e comportamento de cada objeto no ambiente construído. Paredes, portas, janelas e pisos são exemplos de classes de objetos que podem existir em um modelo de informação arquitetônico da construção (LEE, SACKS; EASTMAN, 2006).

Eastman et al., (2011, p. 70-92) apresenta um levantamento recente das aplicações computacionais BIM para projeto (*BIM design applications*) presentes no mercado, conforme a Tabela 5, avaliando suas funcionalidades e alcances na indústria da AEC em termos de: (i) ferramenta BIM, (ii) plataforma BIM e (iii) ambiente BIM. Uma ferramenta BIM é uma aplicação computacional para uma atividade específica como por exemplo: gerar um modelo, produzir desenhos, estimar custo, realizar a detecção de conflitos, analisar eficiência energética, renderizar, montar um cronograma entre outras. Uma plataforma BIM gera o modelo de informação para diferentes usos e incorpora múltiplas ferramentas BIM. Um ambiente BIM integra múltiplas plataformas BIM e o fluxo de trabalho e informação do projeto colaborativo associado.

**Tabela 5 - Levantamento de plataformas BIM**

<b>Vendor</b>	<b>Ferramenta</b>	<b>Atividades</b>
Autodesk Inc.	<i>REVIT</i>	<i>Projeto arquitetônico, estrutural e de sistemas prediais</i>
Bentley Systems, Inc.	<i>Bentley Systems</i>	<i>Projeto arquitetônico, estrutural e de sistemas prediais</i>
Graphisoft	<i>ArchiCAD</i>	<i>Projeto arquitetônico</i>
Dassault's CATIA	<i>Digital Project</i>	<i>Projeto arquitetônico, estrutural e de sistemas prediais</i>
Diehl Graphsoft	<i>Vectorworks</i>	<i>Projeto arquitetônico</i>
Tekla Corp.	<i>Tekla Structures</i>	<i>Projeto estrutural</i>
Beck Technologies	<i>DProfiler</i>	<i>Estimativa de custo</i>

**Fonte: Adaptado de Eastman et al., (2011, p. 70-92).**

A plataforma REVIT da Autodesk, que inclui REVIT Architecture, Structure e MEP, foi a escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho, devido ao potencial de destaque da mesma no mercado de projetos nacional e devido a sua amplitude de desenvolvimento (Arquitetura, Estrutura e Instalações). Outros fatores que foram considerados são os seus recursos intuitivos para o desenvolvimento do presente projeto de pesquisa que serão melhor explicados nas próximas seções.

Eastman et al.(2011) avalia a plataforma REVIT sob os aspectos já mencionados. Em termo de *ferramenta BIM* a interface do REVIT é intuitiva com boa maneabilidade das funções existentes. Existe a troca de informação bidirecional entre o modelo e as vistas do mesmo, assim como entre o modelo e as tabelas de quantitativos e informação geradas a partir dele.

Em termos de *Plataforma BIM* são destacadas as funcionalidades de interoperabilidade entre outras plataformas com a possibilidade de leitura de arquivos nos formatos: DWG, DXF, DGN, SAT, DWF/DWFX, ADSK (componentes de construção), HTML, FBX (visualização 3D), gbXML (desempenho), IFC e ODBC (Open DataBase Connectivity). Além dessas a possibilidade de comunicação com outras plataformas de projeto, incluindo a comutação entre os ambientes de projeto das ferramentas REVIT ARCHITECTURE (Arquitetura), REVIT STRUCTURE (Estrutura, módulo utilizado no presente trabalho) e REVIT MEP (Sistemas de instalações). Em termos de *Ambiente BIM* os autores avaliam o investimento da Autodesk em ambientes web de colaboração entre disciplinas de projeto, mas destaca que o gerenciamento da informação do modelo é feito no nível de arquivos (files) e não no nível do objeto que compõe o modelo, como seria ideal para a gestão integrada do modelo em um ambiente colaborativo de projeto BIM.

Dentre as avaliações feitas para a ferramenta, o aspecto de maior consideração feito para este trabalho foi a da ferramenta BIM. O REVIT possui um grande potencial paramétrico para criação de um modelo orientado a objetos, incluído parâmetros geométricos e não geométricos, aliados a funções aritméticas e booleanas em um ambiente de modelagem de famílias de objetos intuitivo e de fácil compreensão. Esse ambiente proporciona a criação de componentes contendo informação que irão popular o edifício em seu ambiente de projeto. Isso traduz o que conhecemos como o modelo da informação da construção.

#### ***2.4.2 Extração de quantitativos e estimativa de custo***

A orçamentação é um processo que ocorre ao longo do desenvolvimento de um empreendimento. Dessa forma, esse processo pode ser baseado em estimativas de custo de uma obra ou através de valores precisos que realmente definam aquilo que deve ser gasto para que um empreendimento seja construído. Segundo Eastman et al. (2011, p. 275-281) BIM pode auxiliar de diversas maneiras o processo de orçamentação através dos processos automáticos de quantificação.

Ainda segundo o mesmo autor, todas as ferramentas BIM possuem a capacidade de extrair quantitativos unitários de componentes, áreas, volumes de espaços, quantitativos de

material e representar essas informações em formas de tabelas. Porém, essas ferramentas não possuem o mesmo potencial que planilhas orçamentárias. Esse problema pode ser resolvido das seguintes maneiras: (i) exportando as quantidades de tabelas para planilhas eletrônicas, ou (ii) criando um link entre a ferramenta BIM e as planilhas orçamentárias de outros sistemas ou por fim (iii) utilizando ferramentas de extração de quantitativos, conforme demonstrado na primeira e terceira solução por Bassette, Moraes e Ruschel (2012).

### **2.4.3 Planejamento e controle da construção**

O planejamento de uma obra consiste na organização de atividades no espaço e no tempo, levando em consideração outras atividades predecessoras, recursos para execução das atividades, entre outros fatores que influenciam o processo de planejamento e geração de um cronograma de obra. O método mais utilizado pelos gerentes de projetos das empresas construtoras, consiste em uma combinação da representação das atividades em um gráfico de barras e o Método do Caminho Crítico ou *Critical Path Method* (CPM). Segundo Eastman (2011, p.281-293), para essas atividades, as ferramentas mais utilizadas são aquelas que automatizam o cálculo do caminho crítico do projeto, tais como o *Microsoft Project*, *Primavera Sure Track*, entre outros.

A simulação 4D é uma forma alternativa de se realizar o acompanhamento de cronogramas de obra de maneira visual. Essa tecnologia já era adotada, segundo Eastman (2011) desde meados do fim dos anos 1980. Porém, com a adoção de modelos BIM no últimos anos, os modelos 4D de acompanhamento são facilitados, pois possibilitam a utilização e revisão dos modelos 3D, “linkados” automaticamente ao cronograma. Ainda segundo o mesmo autor as vantagens na utilização dos modelos 4D são: (i) melhoria na comunicação, (ii) possibilidade de entrada de informações de múltiplos agentes de projeto (iii), coordenação de logística de canteiros, e (iv) otimização do acompanhamento e gerenciamento do andamento das etapas de obra.

Para compreender a aplicação da simulação 4D associada ao planejamento da construção realizou-se um levantamento bibliográfico a partir das palavras-chaves: “simulação 4D” e

“construção”. Com esses parâmetros de busca, foram selecionados alguns artigos acadêmicos que tratassem da simulação 4D aplicada ao controle da construção (CHAU; ANSON; ZHANG, 2003; GAO; FISCHER, 2005; JONGELING et al., 2008; KIM, 2006; RECK; FORMOSO, 2013; WANG et al., 2014). Esse levantamento demonstrou que nos últimos dez anos, a simulação 4D tem sido muito utilizada e estudada para auxílio nos processos de controle da construção em diversos aspectos, tais como acompanhamento de cronogramas, controle logístico em canteiros, controle de sistemas construtivos, controle da segurança do trabalho em obra, entre outros.

Todos esses estudos demonstram, porém, que existe uma falta de representação de informações que vão além das informações de visualização em três dimensões do modelo de informação da construção. Para tanto, na maioria dos estudos, foram aplicadas metodologias baseadas na quantificação de “pacotes” de informação da construção. Esses pacotes podem consistir de unidades de trabalho temporal (duração de uma etapa construtiva por equipe de trabalho), espacial (zonas de trabalho especificadas para diferentes equipes) ou quantitativa (volume de trabalho por equipe). Verifica-se neste contexto muitas vantagens na utilização da simulação 4D para os processos de projeto na construção.

#### ***2.4.4 Interoperabilidade entre ferramentas***

Para que as informações da construção permaneçam concisas entre as diferentes plataformas BIM de projeto, é necessário que haja uma interoperabilidade eficiente entre estas. O formato de arquivo mais utilizado nessa sistemática de troca de informações é o IFC. O IFC ou *Industry Foundation Classes* consiste de um esquema conceitual que pode ser registrado de forma padronizada em um formato de arquivo para a leitura de modelos da informação da construção de forma aberta (CORRÊA; SANTOS, 2013). Esse esquema foi proposto pela antiga International Alliance for Interoperability (AIA) e atual buildingSmart que trabalha como uma organização sem fins lucrativos para desenvolver esse esquema de dados de forma aberta e livre, promovendo o conceito de OpenBIM.

O esquema do IFC foi definido na linguagem de especificação de dados chamada EXPRESS e atualmente se encontra na sua versão 4, o IFC4 (BUILDINGSMART, 2013). Toda a arquitetura do IFC é definida em entidades distribuídas em camadas conceituais. Entidade pode ser definida, nesse contexto, de maneira análoga ao conceito de objetos na programação computacional clássica. Ou seja, um objeto possui a capacidade de armazenar uma estrutura de dados de uma determinada classe da qual esse objeto participa. Sendo assim, um objeto seria uma instância de uma classe. A classe define o comportamento dos objetos através de seus métodos, e quais estados ele é capaz de manter através de seus atributos. No caso das linguagens de especificações de dados, restringe-se o comportamento aos seus atributos, excluindo os métodos que são comuns a linguagens de programação orientada a objetos.

Os objetos conhecidos como entidades bases são separados em domínios de estudos dentro da AEC. Esses domínios vão desde conjuntos de entidades para a análise estrutural, para a arquitetura, instalações hidráulicas, elétricas, ar-condicionado e etc. Sendo assim, as camadas do IFC que possuem diferentes tipos de entidades são essas:

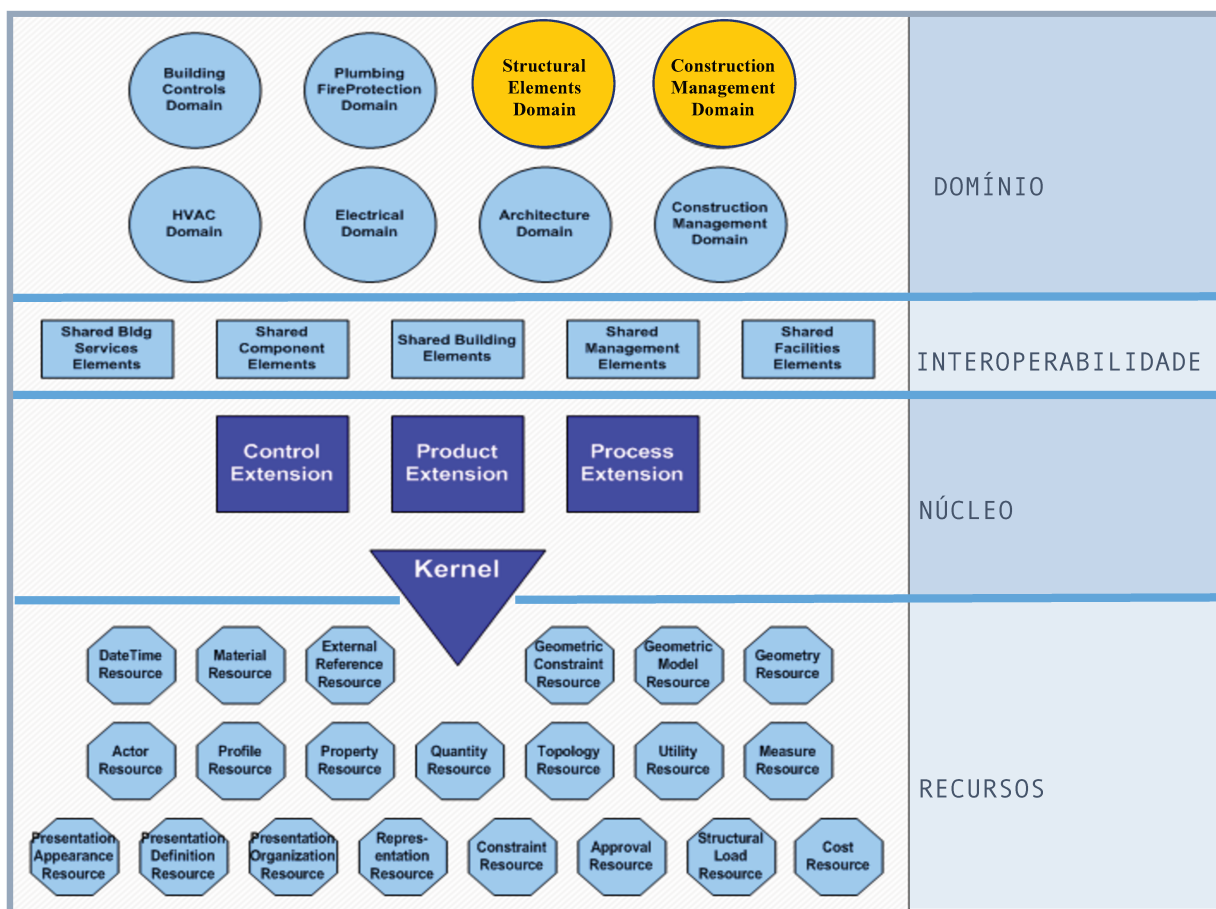
**Recursos:** entidades de uma camada mais inferior onde são definidos propriedades como a geometria, o material e a quantidade dos elementos. Essas entidades não possuem um identificador único, por isso necessitam sempre estar atreladas as entidades das camadas superiores a ela.

**Núcleo:** essa camada possui entidades relacionadas aos recursos físicos do modelo, tais como o posicionamento dos elementos, os níveis e etc. A partir dessa camada, os elementos possuem identificadores únicos e podem ser registrados os dados do criador da entidade e o seu respectivo histórico.

**Interoperabilidade:** seria a camada superior onde se encontram as entidades responsáveis pela troca de informações entre as camadas subjacentes. Sendo assim, são definidos as geometrias dos elementos essenciais do edifício nesta camada, tais como de paredes, janelas, colunas e etc.

**Domínios:** é a camada mais elevada da arquitetura do IFC e define aquelas entidades próprias para as diferentes áreas de atuação da construção. Essas entidades podem ser propriedades, processos e especificações de cada disciplina.

**Figura 8 - Camadas da arquitetura do IFC**



**Fonte: buildingSmart (2013)**

Na camada de Domínio, a mais elevada do IFC podemos identificar dois domínios específicos que poderiam conter atributos para uma biblioteca de componentes de formas para concreto armado. Eles seriam, o domínio de Elementos Estruturais e o domínio de Gestão da Construção. Porém ao explorarmos esses domínios na documentação do IFC mais recente (IFC4) conforme a Tabela 6, identificamos apenas entidades relacionadas a elementos de construção tais como fundações, estacas, tensores, armaduras e etc. Além dos elementos do domínios de Gestão da Construção que lista apenas entidades relacionadas a



recursos utilizados pelo gerenciamento da construção tais como material, equipamentos e mão-de-obra.

**Tabela 6 - Entidades dos Domínios IFC relacionados**

<b>Domínio de Elementos Estruturais</b>	<b>Domínio de Gestão da Construção</b>
<u>7.8 IfcStructuralElementsDomain</u>	<u>7.3 IfcConstructionMgmtDomain</u>
<u>7.8.1 Schema Definition</u>	<u>7.3.1 Schema Definition</u>
<u>7.8.2 Types</u>	<u>7.3.2 Types</u>
7.8.2.1 IfcFootingTypeEnum	7.3.2.1 IfcConstructionEquipmentResourceTypeEnum
7.8.2.2 IfcPileConstructionEnum	7.3.2.2 IfcConstructionMaterialResourceTypeEnum
7.8.2.3 IfcPileTypeEnum	7.3.2.3 IfcConstructionProductResourceTypeEnum
7.8.2.4 IfcReinforcingBarTypeEnum	7.3.2.4 IfcCrewResourceTypeEnum
7.8.2.5 IfcReinforcingMeshTypeEnum	7.3.2.5 IfcLaborResourceTypeEnum
7.8.2.6 IfcSurfaceFeatureTypeEnum	7.3.2.6 IfcSubContractResourceTypeEnum
7.8.2.7 IfcTendonAnchorTypeEnum	<u>7.3.3 Entities</u>
7.8.2.8 IfcTendonTypeEnum	7.3.3.1 IfcConstructionEquipmentResource
7.8.2.9 IfcVoidingFeatureTypeEnum	7.3.3.2 IfcConstructionEquipmentResourceType
7.8.2.10 IfcBendingParameterSelect	7.3.3.3 IfcConstructionMaterialResource
<u>7.8.3 Entities</u>	7.3.3.4 IfcConstructionMaterialResourceType
7.8.3.1 IfcFooting	7.3.3.5 IfcConstructionProductResource
7.8.3.2 IfcFootingType	7.3.3.6 IfcConstructionProductResourceType
7.8.3.3 IfcPile	7.3.3.7 IfcConstructionResource
7.8.3.4 IfcPileType	7.3.3.8 IfcConstructionResourceType
7.8.3.5 IfcReinforcementDefinitionProperties	7.3.3.9 IfcCrewResource
7.8.3.6 IfcReinforcingBar	7.3.3.10 IfcCrewResourceType
7.8.3.7 IfcReinforcingBarType	7.3.3.11 IfcLaborResource
7.8.3.8 IfcReinforcingElement	7.3.3.12 IfcLaborResourceType
7.8.3.9 IfcReinforcingElementType	7.3.3.13 IfcSubContractResource
7.8.3.10 IfcReinforcingMesh	7.3.3.14 IfcSubContractResourceType
7.8.3.11 IfcReinforcingMeshType	<u>7.3.4 Property Sets</u>
7.8.3.12 IfcSurfaceFeature	7.3.4.1 Pset_ConstructionResource
7.8.3.13 IfcTendon	<u>7.3.5 Quantity Sets</u>
7.8.3.14 IfcTendonAnchor	7.3.5.1 Qto_ConstructionEquipmentResourceBaseQuantities
7.8.3.15 IfcTendonAnchorType	7.3.5.2 Qto_ConstructionMaterialResourceBaseQuantities
7.8.3.16 IfcTendonType	7.3.5.3 Qto_LaborResourceBaseQ
7.8.3.17 IfcVoidingFeature	
<u>7.8.4 Property Sets</u>	
7.8.4.1 Pset_ConcreteElementGeneral	
7.8.4.2 Pset_FootingCommon	
7.8.4.3 Pset_PileCommon	
7.8.4.4 Pset_PrecastConcreteElementFabrication	
7.8.4.5 Pset_PrecastConcreteElementGeneral	
7.8.4.6 Pset_PrecastSlab	
7.8.4.7 Pset_ReinforcementBarCountOfIndependentFooting	
7.8.4.8 Pset_ReinforcementBarPitchOfBeam	
7.8.4.9 Pset_ReinforcementBarPitchOfColumn	
7.8.4.10 Pset_ReinforcementBarPitchOfContinuousFooting	
7.8.4.11 Pset_ReinforcementBarPitchOfSlab	
7.8.4.12 Pset_ReinforcementBarPitchOfWall	
<u>7.8.5 Quantity Sets</u>	
7.8.5.1 Qto_FootingBaseQuantities	
7.8.5.2 Qto_PileBaseQuantities	

**Fonte: buildingSmart (2013)**

Apesar desse potencial de exploração dos domínios do IFC, verificamos que não são identificados elementos específicos para os componentes das Formas para Estruturas de

Concreto Armado. Isso torna necessário uma extensão do IFC para podermos trabalhar de forma mais específica a interoperabilidade de componentes de formas entre diferentes ferramentas BIM de projeto. Porém, esse não foi o foco dessa pesquisa, o de explorar as potencialidades da interoperabilidade do IFC relacionado aos componentes do PCFM. Isso se deve primeiramente pela constante evolução em que se encontra o IFC e como mesmo com anos de desenvolvimento, ainda possuem várias inconsistências que poderiam trazer problemas de continuidade da informação no fluxo da informação do projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2010; PAZLAR; TURK, 2008), principalmente pela ausência de domínios específicos para a construção civil. Sendo assim, destina-se essa seção a informar as necessidades de pesquisas e desenvolvimento envolvendo a aplicação dessas possibilidades em futuras pesquisas.

## 2.5 API – Application Programing Interface

Uma maneira de se estender as funcionalidades das ferramentas BIM é através das interfaces de programação de aplicações (API). Uma interface de programação de aplicações é um recurso de programação que permite a incorporação de funcionalidades extras, pelo usuário, às funcionalidades nativas da ferramenta fornecida pelo fabricante de software. Essas interfaces possibilitam a programação em códigos de computador, automatizando os processos e capacidades que a ferramenta possui. Em um contexto BIM, o desenvolvimento para uma API requer uma linguagem de programação orientada a objetos e uma Interface de Desenvolvimento Integrada (*Interface Development Enviroment* - *IDE*). Podendo assim, produzir aplicativos ou *Apps* para as ferramentas BIM, incorporando os seus processos e funcionalidades.

Os aplicativos ou *Apps* para ferramentas BIM inserem-se num mercado em expansão. A Autodesk, por exemplo, iniciou as atividades de sua loja de aplicativos, *AutodeskExchange*<sup>2</sup> no ano de 2012 e atualmente possui mais de 190 *Apps* apenas na seção de aplicativos para o REVIT.

---

<sup>2</sup> <http://apps.exchange.autodesk.com/>

As funcionalidades do REVIT avaliadas nesta pesquisa mostraram que o processo de projeto do PCFM seria largamente otimizado com a adoção de aplicativos (*Apps*). A utilização da API do REVIT possibilita a automação de outras etapas do processo de projeto do PCFM, que devem ser abordados de maneira específica, pois podem abranger desde o processo de modelagem ao processo de interoperabilidade entre ferramentas BIM.

## **2.6 Parametrização de componentes em outras ferramentas BIM e Bibliotecas de Componentes**

A parametrização de componentes também é possível em todas as ferramentas BIM. Entretanto, existe uma problemática, cada ferramenta utiliza um formato de dados próprio dificultando a troca de componentes contendo a informação da construção entre diferentes agentes que utilizam diferentes ferramentas. O uso de bibliotecas de componentes da construção em BIM vem ganhando há algum tempo destaque entre as iniciativas de adoção de BIM ao redor do mundo. Segundo Duddy et al.,(2013), essas bibliotecas são desenvolvidas e administradas geralmente por instituições governamentais, fabricantes ou iniciativas privadas com interesse nas vantagens que o uso desses componentes pode trazer para o seu mercado.

O uso de bibliotecas de componentes não é algo novo no mercado da construção, tendo essa prática também ocorrido no período em que as tecnologias CAD predominavam no mercado de AEC (AMOR; JAIN; AUGENBROE, 2008). Porém, durante esse período as informações geométricas e não geométricas dos produtos, permaneciam em arquivos e locais separados, o que dificultava muito o uso de tecnologias de busca para os usuários encontrarem os componentes que os interessavam ou as especificações pertinentes ao projeto em que esses componentes seriam aplicados. Atualmente, com o uso de bibliotecas BIM, o maior desafio dessas organizações é o de criar plataformas de gerenciamento dos componentes, administrando as informações contidas em cada elemento com diferentes usos no edifício, compatíveis com ferramentas diferentes e consequentemente provocando aberturas para inconsistências e erros de especificação. Essas iniciativas já ocorrem em níveis governamentais, tais como os exemplos citados por Duddy et al., (2013) da Nova Zelândia com o *Product Spec* (PRODUCTSPEC, 2014), no Reino Unido com a *National*

*BIM Library* (NBL) (NBL, 2014), na Austrália com o *Australian Nacional Object Library* NOL (2014, apud DUDDY et al., 2013) e no Brasil com a Norma da ABNT NBR 15965:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Nacionalmente, essa iniciativa ainda se encontra em desenvolvimento, estando apenas publicado algumas partes que ajudam a direcionar a classificação da modelagem da informação da construção no Brasil. A estruturação da norma é dada da seguinte forma:

**Grupo 0:** referente às características dos objetos da construção, com a seguinte classificação, 0M materiais da construção e 0P propriedades da construção.

**Grupo 1:** referente aos processos da construção, com a seguinte classificação, 1F fases da construção, 1S serviços da construção e 1D disciplinas da construção.

**Grupo 2:** referente aos recursos da construção, com a seguinte classificação, 2N funções da construção, 2Q equipamentos da construção e 2C produtos da construção.

**Grupo 3:** refere-se aos resultados da construção, com a seguinte classificação, 3E elementos da construção e 3R resultados de serviços da construção.

**Grupo 4:** referente às unidades e espaços da construção, com a seguinte classificação, 4U unidades da construção e 4A espaços da construção.

**Grupo 5:** referente às informações da construção, com a seguinte classificação, 5I informações da construção.

Essa classificação ainda não deixa claro como os elementos das formas poderiam ser classificados, considerando que até o momento da redação deste texto, encontra-se publicada apenas a parte do Grupo 0, relativa aos objetos da construção. Apesar da existência da norma brasileira, um dos canais mais populares de divulgação desses componentes no Brasil é o repositório de famílias *Seek* da Autodesk (AUTODESK, 2014).

Dessa forma, podemos visualizar que existem muitas áreas a serem exploradas nacionalmente. A utilização da plataforma REVIT da Autodesk para a biblioteca de

componentes do PCFM seria um passo inicial na complementação dos processos de projeto construtivos em um contexto BIM de projeção, podendo essa metodologia ser repetida várias vezes para outros campos de estudo, abordando diferentes tipos de projeto em diferentes áreas de atuação do mercado de AEC.

### ***2.6.1 Nível de Detalhamento ou Level of Detailing (LOD)***

Descrever cada componente existente no setor de AEC seria uma tarefa praticamente impossível se não houvesse uma estratégia de classificação dos elementos e a sua separação por uso. No âmbito da modelagem da informação destaca-se um esforço de classificação de componentes pela sua descrição do nível de detalhe que este possui. Esta estratégia conhecida como *Model Progression Specification* (MPS) ou Estrutura de Especificação do Modelo foi proposta, segundo Jim Bedrick (2008), pela equipe da *Vico Software* no ano de 2004, e que a partir de então tem sido referenciada sempre que tratado o aspecto de nível de detalhe de componentes em BIM. Essa especificação determina que existem níveis de detalhamento de um componente, o que sugere o “uso” desse modelo para representar um determinado estágio de evolução do modelo no seu ciclo de vida. Esses níveis são separados em cinco níveis de detalhamento do modelo, enumerados de 100 a 500: (100) modelo no estágio Conceitual, (200) modelo no estágio de Geometria aproximada, (300) modelo no estágio de Geometria precisa, (400) modelo no estágio de representação de Fabricação e (500) modelo equivalente ao *As-built* (ARCHITECTS, 2008; BEDRICK, 2008).

Por se tratar de uma estratégia conceitual, entende-se que essa classificação é muito ampla e não específica de forma detalhada como cada área de conhecimento deveria aborda-la. Porém, parte-se desse conceito para se estruturar o nível de desenvolvimento dos componentes das formas de madeira, podendo ir desde o estudo preliminar dos materiais empregados, até o maior nível de detalhamento para a fabricação. Será explicado como isso se dá ao longo do desenvolvimento da etapa de abstração da modelagem dos componentes das formas. Para melhor se entender essa etapa, é preciso se entender a forma como esses componentes podem ser criados na ferramenta REVIT adotada na pesquisa.

## 2.7 Criação de componentes por meio de famílias no REVIT

Assim como toda ferramenta BIM, o REVIT é composto de objetos parametrizados que possuem “comportamento” que dão inteligência para o componente do modelo. A definição destes objetos é realizada no REVIT em **Famílias**. Família é definida como “um grupo de elementos com um conjunto de propriedades comum, chamado de parâmetros, e uma representação gráfica relacionada” (AUTODESK, 2010).

Existem diferentes comportamentos entre as Famílias do REVIT. Esses comportamentos são categorizados em três conjuntos de Famílias. Eles são as Famílias de sistema, Famílias carregáveis e Famílias locais (Figura 9).

**Famílias do sistema** definem os elementos de construção como: paredes, tetos, forros, pisos e alguns elementos específicos de anotação como níveis, eixos, folhas de desenho e *viewports*. As famílias do sistema são predefinidas dentro do *REVIT* em suas extensões de arquivo RVT<sup>3</sup> ou RTE<sup>4</sup>. Não é possível estender o conjunto de famílias do sistema, i.e. criar uma nova Família; mas é possível adapta-la realizando edições em seus parâmetros ao se duplicar os tipos de Família do sistema já existentes no projeto. As Famílias do sistema são consideradas Famílias menos flexíveis para a manipulação de seus parâmetros, mas em compensação são Famílias mais “inteligentes” dentro do ambiente de projeto (AUTODESK, 2010). Essa inteligência pode ser evidenciada através das famílias de parede. As famílias de portas e janelas, por exemplo, apesar de serem Famílias carregáveis, não existem sem a presença de uma parede. Isso denota que quando uma parede é manipulada no modelo, todos os elementos inseridos nela as acompanham.

**Famílias carregáveis** definem elementos de construção e alguns elementos de anotação criados para o projeto. Geralmente são aqueles elementos comprados, entregues e instalados em uma construção, tais como janelas, portas, gabinetes, móveis, conexões entre outros. São elementos que podem ser salvos em um arquivo externo ao projeto nos

---

<sup>3</sup> RVT: *REVIT File*

<sup>4</sup> RTE: *REVIT Template File*

formatos RFA<sup>5</sup>, para elementos já modelados e parametrizados e RFT<sup>6</sup>, para elementos *templates*. Este último serve como “gabarito” para a modelagem de outros elementos com funcionalidades específicas. As famílias carregáveis definem elementos que possibilitam uma maior parametrização de componentes com funcionalidades e comportamentos específicos de cada Categoria de Família a qual pertence, dependendo de seu *template* de origem. Por exemplo, uma Família de luminária possui funcionalidades específicas desse elemento de construção, diferentes daqueles presentes em uma Família de conexões estruturais (AUTODESK, 2010).

Outro importante comportamento das Famílias carregáveis é a capacidade de se criar Famílias Aninhadas (*Nested Families*). O aninhamento de Famílias carregáveis se dá pelo agrupamento de famílias, criando uma família dentro de outra.

**Famílias locais** definem elementos únicos criados exclusivamente para um determinado projeto. Exemplos deste grupo de Famílias são paredes especiais inclinadas, telhados diferenciados, etc. São componentes únicos que não se deseja utilizar novamente em outros projetos. As Famílias locais não possuem arquivos externos ao projeto, possuindo parametrização semelhante ao das Famílias carregáveis, mas que se adequam ao contexto único do projeto, não podendo ser reutilizadas novamente. Recomenda-se evitá-las ao máximo devido à exclusividade da mesma em um projeto, além da grande carga de informação a ser inserida de forma única no modelo de informação, sobrecarregando-o (AUTODESK, 2010).

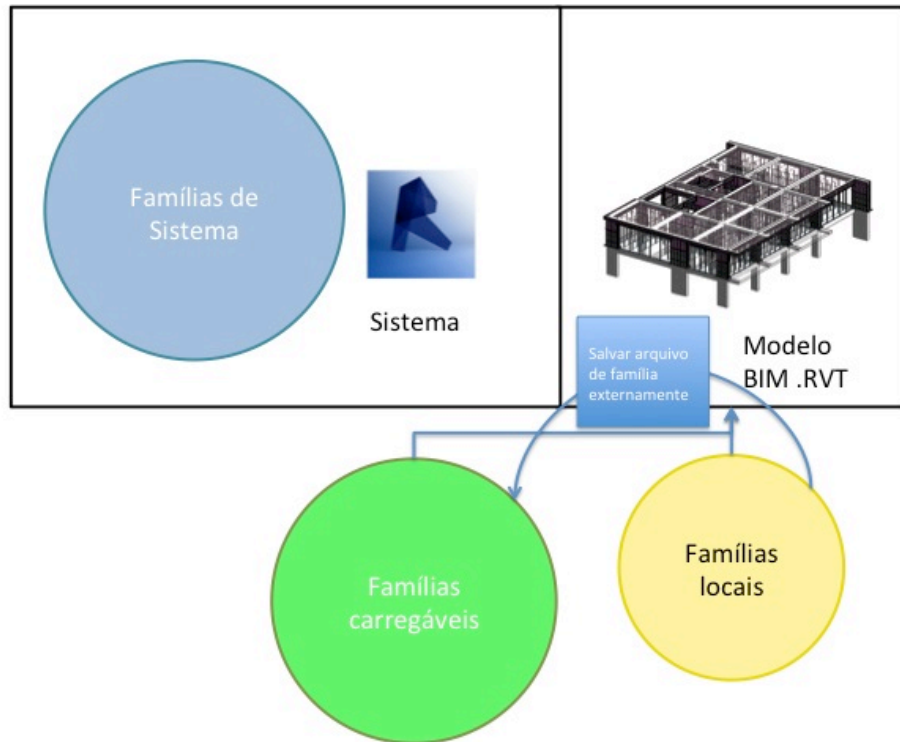
---

<sup>5</sup> RFA: *REVIT Family*

<sup>6</sup> RFT: *REVIT Family Template*



**Figura 9 - Classificação do comportamento das famílias**

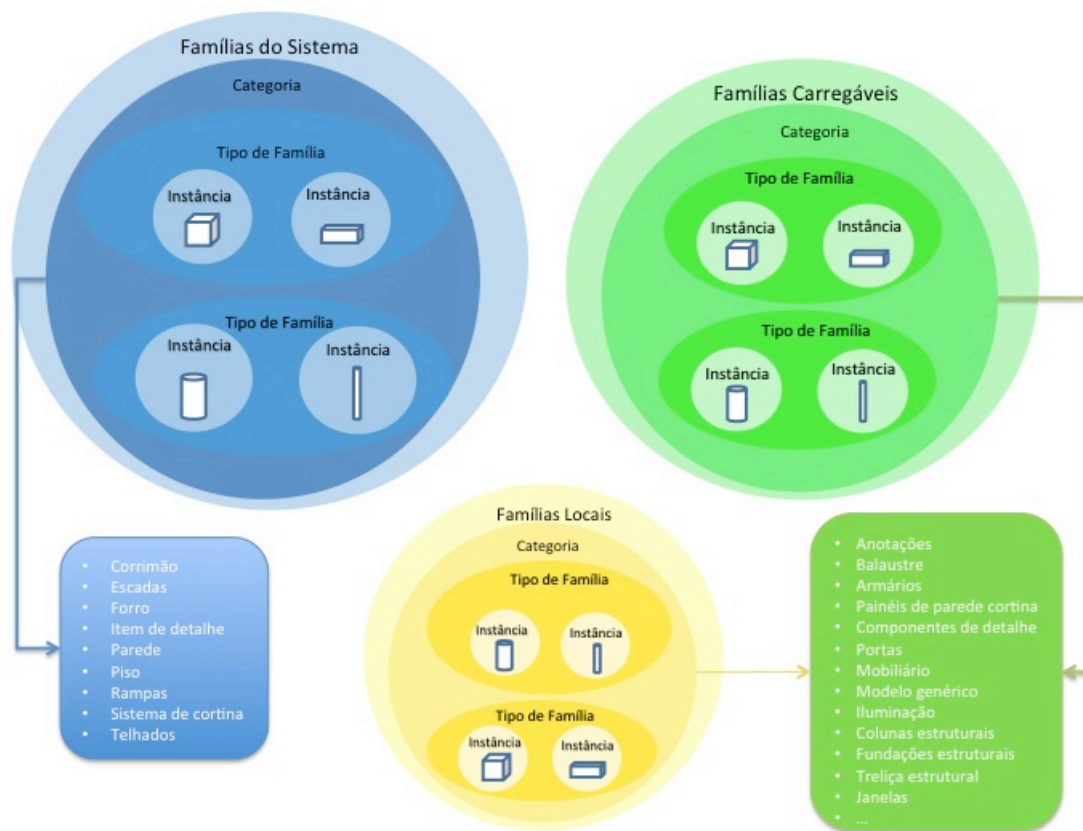


**Fonte: do autor**

Todas as Famílias do REVIT são gerenciadas em uma estrutura hierárquica que se inicia com a *Categoria da Família*, em seguida temos o *Tipo de Família* e por fim a *Instância da Família*. A *Categoria da Família* representa uma classificação geral para cada parte do modelo. Essas Categorias podem ser, por exemplo: de Parede, Porta, Mobiliário, Janela, Pilares Estruturais, Fundações, Conduítes elétricos, Tubos, Conexões hidráulicas, Vegetação, entre outras. Já o conjunto de elementos de uma Família com diferentes valores de parâmetros, porém com um mesmo nome e significado, denomina-se *Tipo de Família*. As *Instâncias da Família* são as diferentes variações do *Tipo de Família* que são criadas dentro do projeto, conforme ilustrado na Figura 10. As *Instâncias da Família* podem ser inseridas múltiplas vezes no projeto criando os objetos que compõem o modelo, conforme demonstrado para a Categoria de Família de Pilar na Figura 11. Na Figura 12 temos a

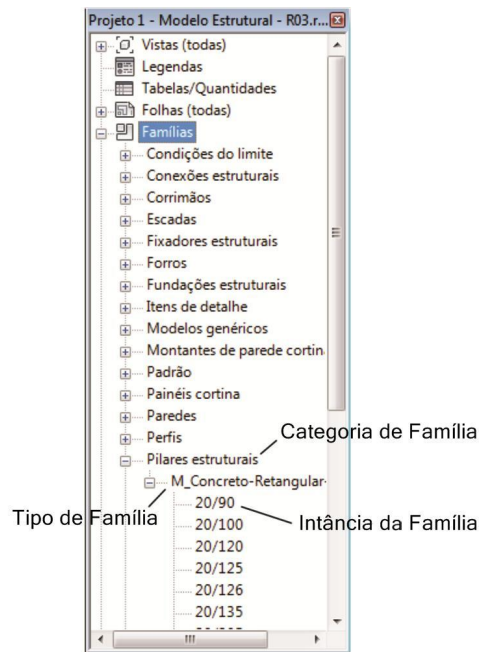
indicação dos diferentes Tipos de Família de Pilar definidos a partir da variação de seus parâmetros de tipo (ver ítem 2.7.1).

**Figura 10 - Esquema de Famílias no REVIT: do Sistema, Carregáveis e Locais**



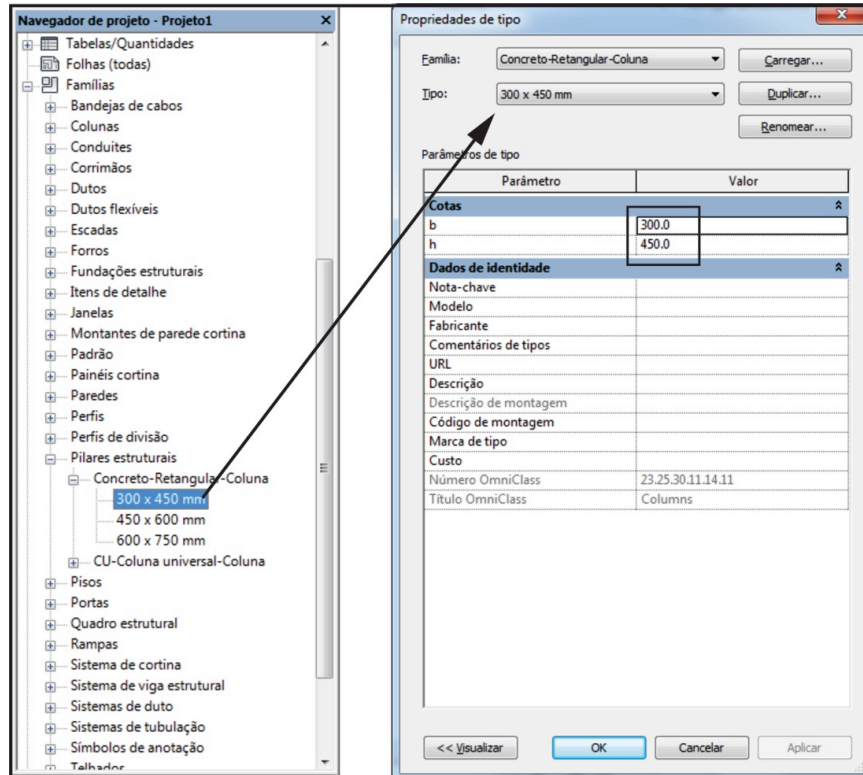
**Fonte: do autor**

**Figura 11 - Categorias de famílias do REVIT**



Fonte: do autor

**Figura 12 - Instâncias dos tipos de família do REVIT / Aba de Propriedades de tipo**



### ***2.7.1 Estratégia de parametrização nas famílias no REVIT***

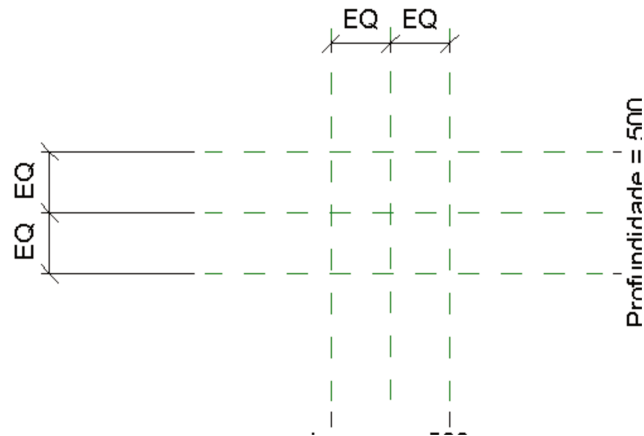
As maneiras de se iniciar a parametrização nas Famílias carregáveis do REVIT são diversas. Porém, obedecer a uma estratégia de parametrização e implementação é indicada pela literatura como a melhor maneira de se conceber elementos inteligentes e de grande desempenho na plataforma BIM do REVIT (AUTODESK, 2010; JOLLY, 2011; SHEATHER, 2011).

Os parâmetros criados no ambiente de modelagem podem ser parâmetros de **tipo**, **instancia** ou **compartilhados**. Os parâmetros de tipo são aqueles que definem as propriedades para todas as instancias dentro do modelo. Já os parâmetros de instancia são aqueles que definem as propriedades para cada instancia individualmente. Os parâmetros compartilhados podem ser utilizados dentro de Famílias e/ou de Famílias dentro do modelo.

Tendo esses conceitos de tipos de parâmetro para as Famílias bem definidos, podemos indicar alguns passos propostos por Jolly (2011) como estratégia de implementação e modelagem de Famílias no REVIT:

1. Planejar a Família antes de iniciar a modelagem, definindo em qual categoria ela se encaixa melhor e quais os parâmetros necessários a serem criados.
2. Criar o novo arquivo RFA a partir de um arquivo “gabarito” ou template RFT apropriado, fazendo o seguinte questionamento: Como a Família será hospedada no modelo? Cada arquivo “gabarito” possui categorias pré-definidas, juntamente com a forma de hospedagem, planos de referência e parâmetros preexistentes que economizam bastante tempo na criação das Famílias?
3. Criar diferentes subcategorias necessárias para ajudar no controle de visualização da geometria da Família.
4. Criar planos de referências que definam o “esqueleto” da Família que em seguida poderão ser “amarrados” à geometria variável da mesma.

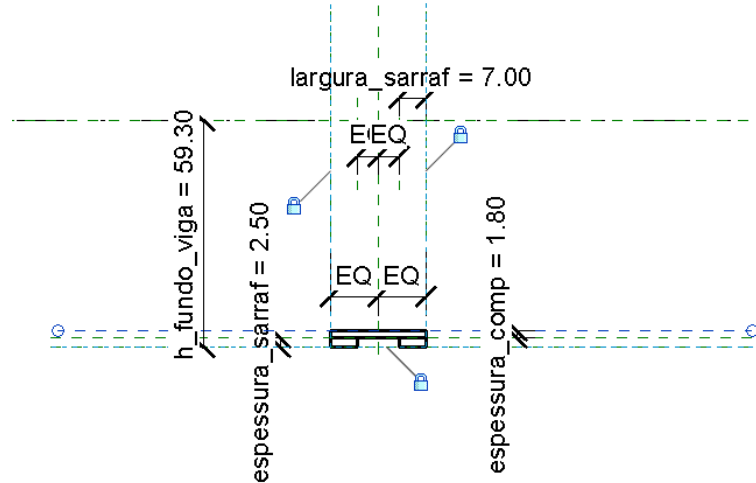
**Figura 13 - Planos de referência que definem o "esqueleto" da Família**



**Fonte: do autor**

5. Definir a origem de inserção da família (interseção de dois planos de referência).
6. Definir “Legendas” para as cotas criadas entre os planos de referência que serão utilizadas como parâmetros que deverão ser definidos como parâmetros de tipo ou de instância.
7. Testar a estrutura dos planos de referência criados manipulando-as dentro do ambiente de modelagem de maneira que não haja erros de vínculos entre as cotas definidas, assim como as amarrações com a geometria a ser criada.
8. Criar a geometria a ser visualizada na Família criando sólidos, vazios ou linhas e restrinja os limites da geometria com os planos de referência criados, “amarrando-os” quando necessário.

**Figura 14 - Exemplificação do uso de cadeados (amarrações) entre a geometria e os planos de referência para fundo de viga no esqueleto da família**



**Fonte: do autor**

9. Manipular a estrutura criada, checando se existe alguma inconsistência que deve ser ajustada desde já.
10. Especificar os níveis de detalhe, assim como as subcategorias de visualização para a geometria, obedecendo às necessidades da Família dentro do modelo.
11. Carregar a Família criada em um modelo de teste para avaliar a inserção e a visualização da geometria de forma apropriada.
12. Em Famílias com grande número de parâmetros, testar a funcionalidade de Catálogo de tipos<sup>7</sup> para testar o funcionamento da variação dos vários parâmetros criados.
13. Repassar a Família criada para um terceiro usuário para que este possa também realizar testes na mesma e identificar possíveis falhas não identificadas nos testes feitos pelo autor da Família.

<sup>7</sup>Catálogo de tipos: Funcionalidade existente no REVIT que consiste em um arquivo externo ao modelo no formato .txt que ao ser colocado na mesma pasta em que o arquivo da família no formato .rfa se encontra, possibilita a criação e manipulação dos parâmetros da mesma. Para facilidade de manipulação de dados, pode ser utilizado um arquivo no formato .csv a ser convertido em .txt no momento de carregar a família no projeto.

### 3 Método de pesquisa

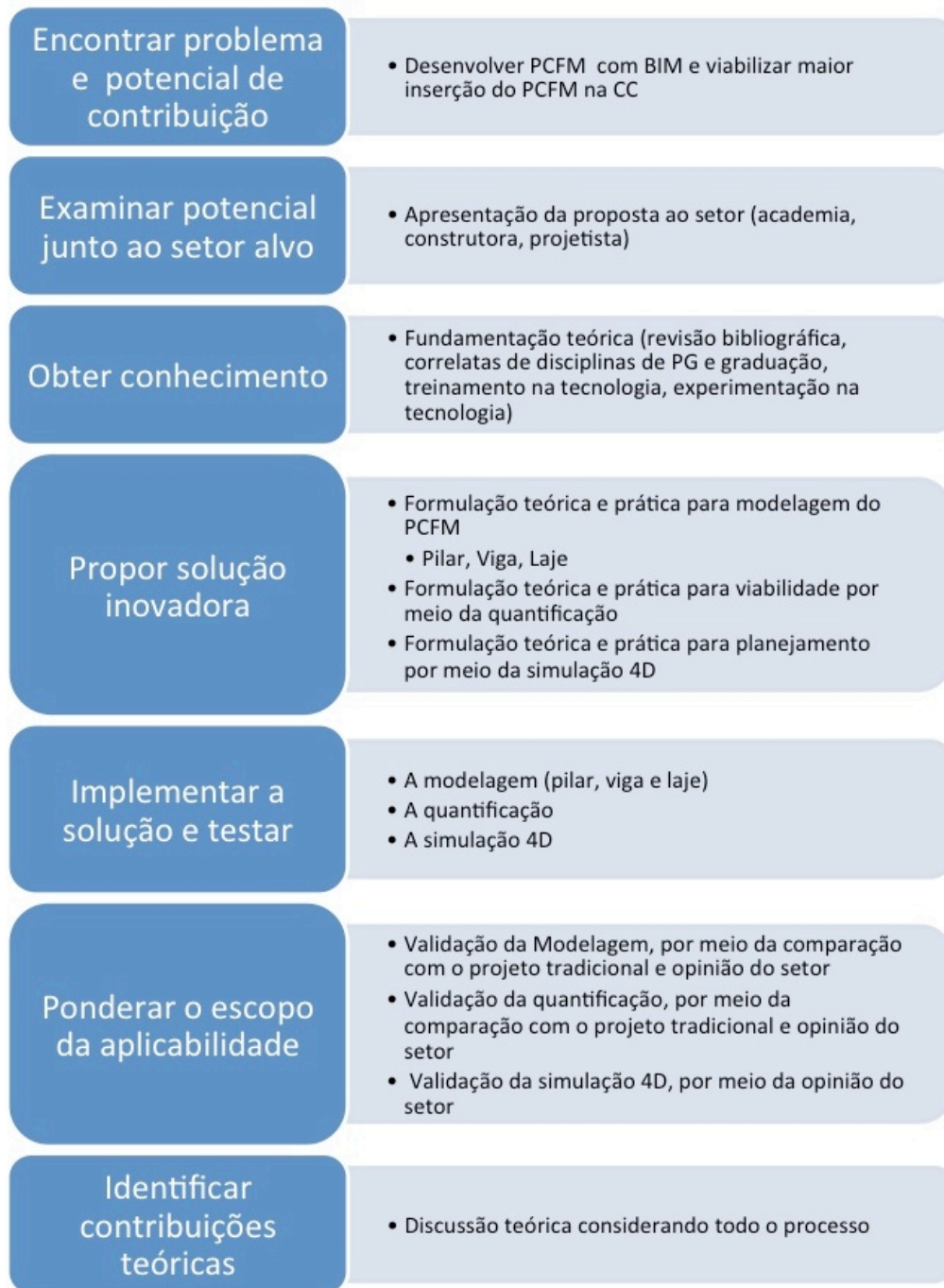
---

A pesquisa como um todo segue a metodologia da pesquisa construtiva (*constructive research*). Essa metodologia foi adotada, pois se entende que o objetivo geral da pesquisa é criar um artefato composto de objeto e processo para sua utilização. O objeto será a biblioteca de componentes de formas de madeira para concreto armado e o processo se trata do processo de projeto de formas de madeira modificado, otimizado e ampliado com a tecnologia BIM. Modificado, pois agora o processo ocorre de maneira diferente do tradicional, otimizado pois algumas etapas são automatizadas (documentação, quantificação) e ampliado pois é incorporada a simulação 4D ao processo.

O objetivo desta pesquisa desenvolve-se com o intuito de resolver um problema do mundo real em que a utilização do Projeto Construtivo possibilita o avanço tecnológico para o campo da construção civil. Esses objetivos serão alcançados utilizando-se de uma tecnologia pré-existente (BIM) para que se possam ter construções (famílias) que solucionem os problemas enfrentados nessa área de atuação (construção civil) (LUKKA, 2003).

A metodologia construtiva foi desenvolvida conforme Lukka (2003) e está ilustrada na Figura 15.

**Figura 15 – Delineamento adotado do método de pesquisa construtiva**



**Fonte: do autor**

A seguir descrevem-se as fases da metodologia adotada explanando seu desenvolvimento.



### **3.1 Pesquisa construtiva (*Constructive research*)**

A pesquisa construtiva é descrita segundo Lukka (2003) como sendo um procedimento de pesquisa capaz de realizar construções inovadoras. Essas construções inovadoras estão pautadas na solução de problemas do mundo real e no desenvolvimento das teorias da área em que a pesquisa se insere. As construções são descritas, ainda segundo Lukka (2003) como sendo todos os artefatos produzidos pelo homem, tais como modelos, diagramas, guias, estruturas organizacionais, produtos comerciais e etc. Todas essas, com a característica comum de terem sido inventadas e não descobertas ao acaso.

Lukka descreve um processo no qual a pesquisa construtiva se insere, composta por 7 etapas.

#### ***3.1.1 Encontrar um problema prático relevante, incluindo potenciais de contribuições teóricas***

Nessa fase acontece a identificação do problema da pesquisa. Os problemas práticos normalmente advêm da área em que o profissional atua de forma direta. Demandando soluções que possam contribuir de forma prática ou em alguns casos, haver apenas contribuições teóricas para que futuras pesquisas utilizem aquelas construções para o desenvolvimento do setor.

A identificação do problema desta pesquisa foi feita ao longo da formação do pesquisador. Foi identificada a demanda pela otimização do processo de projeto na área de formas, sabendo-se que é uma disciplina pouco explorada pela construção civil, principalmente no mercado brasileiro. A contribuição que a modelagem da informação da construção pode proporcionar para o setor está voltada para a otimização dos processos e a minimização das incertezas e erros no projeto. O problema desta pesquisa foi apresentado no capítulo Introdução.

### ***3.1.2 Examinar o potencial de pesquisa a longo prazo, em conjunto com o setor alvo***

Os interesses sobre a pesquisa devem vir de forma balanceada entre um setor alvo, que demanda soluções para os seus problemas, e interesse e competência do pesquisador e seu grupo de pesquisa. Geralmente, as pesquisas partem de acordos feitos entre essas duas partes para que se possa garantir um maior potencial de realização das inovações. Pesquisas desenvolvidas de forma independente pelo pesquisador, quando aplicada, possuem grande potencial de se tornarem falhas e serem ineficazes.

O maior potencial nesta pesquisa está na inserção da modelagem da informação em um contexto de projeto para a construção, onde existe interesse da contribuição por parte de construtoras e projetistas, uma realidade precária dentro desse campo de pesquisa. Desta forma, buscou-se avaliar junto ao setor alvo a demanda e interesse pela pesquisa em desenvolvimento. Este projeto foi apresentado para uma empresa líder de engenharia especializada em projetos de produção civil, sendo o principal, o de produção de fôrma de madeira. Esta empresa demonstrou-se muito interessada na pesquisa aprovando-a, porém não se viabilizou um desenvolvimento conjunto, apenas se sucedeu a troca de conhecimentos ao longo de encontros pontuais. O interesse não estava na otimização, pois o processo de projeto em CAD da empresa é bastante eficiente, mas na oportunidade de inserir o projeto de produção de formas no contexto da modelagem da informação da construção e ampliá-lo.

### ***3.1.3 Obter profundo conhecimento da área, tanto na teoria quanto na prática***

Durante essa fase, o pesquisador se encontra no momento fundamental em que são identificados os verdadeiros problemas do setor em que ele se encontra. Só assim será possível mensurar quais as potenciais contribuições minimamente teóricas para as soluções que serão propostas.

Nesta pesquisa, essa fase consistiu da fundamentação teórica e conhecimento aplicado em BIM do pesquisador. A fundamentação teórica ocorreu por meio de uma revisão

bibliográfica nos temas: Sistemas de formas, madeira para estruturas de formas, projeto construtivo e a modelagem da informação da construção. A aquisição do conhecimento aplicado em BIM ocorreu por meio de treinamento em ferramenta de modelagem, dos recursos associados para sua extensão e adaptação e por fim da experimentação constante destas funcionalidades para as construções propostas.

#### ***3.1.4 Propor uma solução inovadora e desenvolver uma construção que solucione um problema real***

Essa é a fase mais empírica e experimental da pesquisa. Nesse momento identifica-se se a construção de um artefato é viável. Assim, a pesquisa pode ser interrompida pela falta de contribuições desejadas. Os avanços nessa fase se dão de forma progressiva, podendo ocorrer em pequenos ciclos, ou em pequenos protótipos que ganham maior escopo com o tempo. Dessa forma, as atividades desenvolvidas nessa fase demandam tempo e colaboração dos agentes envolvidos.

Nesta pesquisa, esta fase consistiu da realização dos ciclos dos estudos denominados:

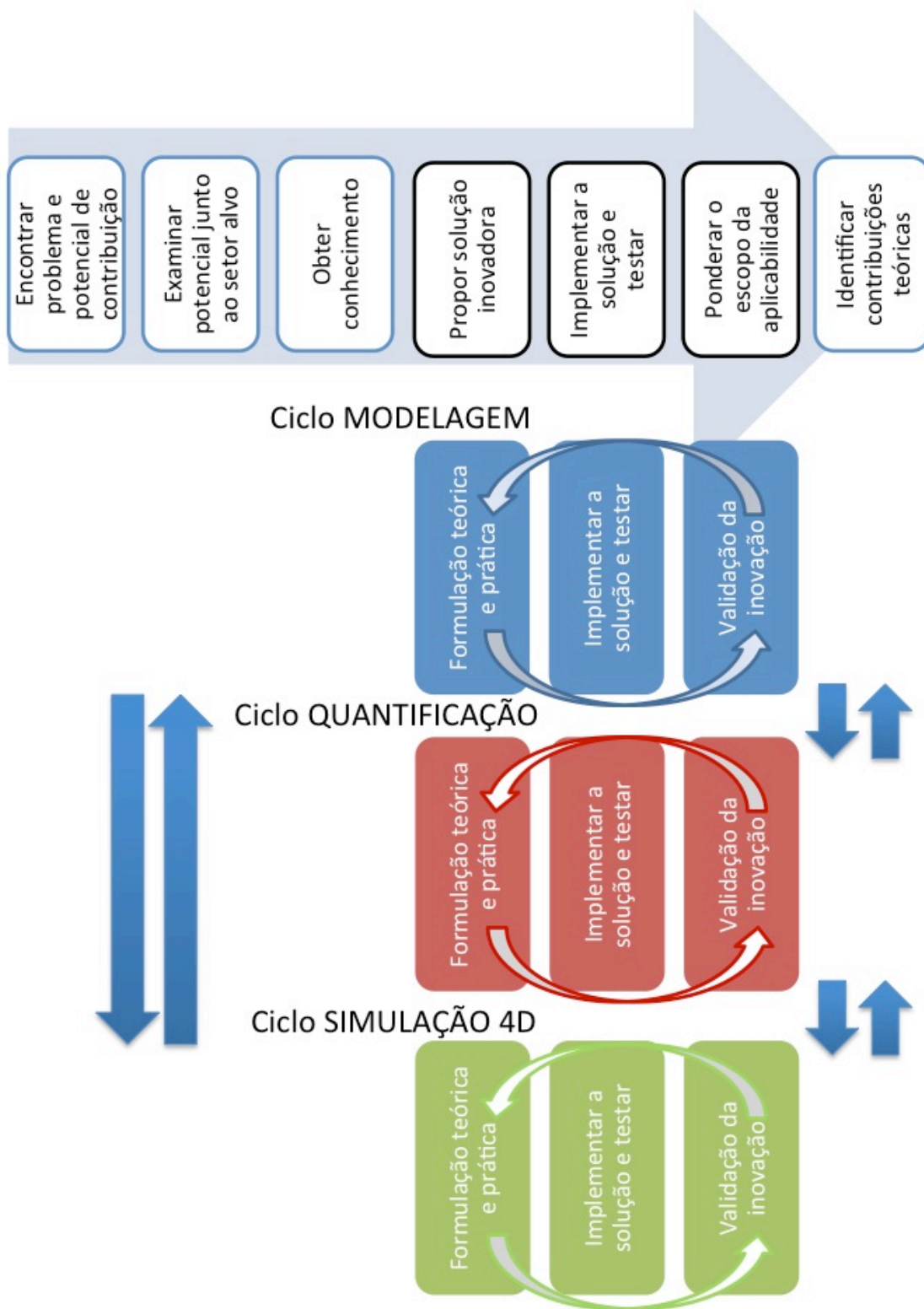
- MODELAGEM,
- QUANTIFICAÇÃO,
- SIMULAÇÃO 4D.

#### ***3.1.5 Implementar a solução e testar como ela funciona***

Desenvolveram-se múltiplas tentativas para se propor uma implementação assertiva dos componentes do projeto de formas, i.e., pilares, vigas e lajes. Os ciclos partiam de uma formulação inicial (fase anterior da proposição de solução), seguido de implementação, finalizando com verificações e análises. Dependendo do resultado da verificação ou análise voltava-se para formulação ou implementação até se chegar numa modelagem, num processo de quantificação ou de simulação 4D viáveis em termos de representação e processo. Muitas vezes a verificação de uma fase de quantificação ou simulação requeria reformular e reimplementar a primeira fase de modelagem (Figura 16).

Cada ciclo abordou um aspecto do PCFM para a proposição das novas soluções. Primeiramente, a modelagem propôs uma nova forma de se projetar e documentar o PCFM. Após a consolidação dessa etapa, o ciclo de quantificação propôs uma automação para o processo de orçamentação e análise dos custos da forma. Por fim, a Simulação 4D propôs uma ampliação da forma como se tratava o planejamento e a apresentação das sequencias de montagem do sistema construtivo das formas para concreto armado.

Figura 16 - Inserção dos ciclos de desenvolvimento na metodologia de pesquisa



### ***3.1.6 Ponderar o escopo de aplicabilidade da solução***

Durante essa fase, as atividades empíricas e teóricas devem ser constantemente alternadas. Isso dará ao pesquisador a visão estratégica a ser tomada durante cada ciclo de desenvolvimento da construção. A constante alternância e retomada dos resultados obtidos, dará à pesquisa como um todo a melhor forma de ser revista e aproveitada em escopos diferentes tanto para contribuições práticas quanto teóricas.

Experiências específicas para ponderar sobre o escopo de aplicabilidade da solução foram desenvolvidas como: (i) tentativa de implantação em um escritório de projetos do mercado. (ii) teste da modelagem das formas em BIM e simulação 4D para o projeto de formas em ambiente didático e (iii) desenvolvimento de um projeto de formas para um empreendimento comercial, contendo dois edifícios de múltiplos pavimentos.

### ***3.1.7 Identificar e analisar as contribuições teóricas***

É de vital importância que se possam identificar contribuições teóricas para a pesquisa. Essas contribuições podem ser identificadas pelo pesquisador de forma clara ao se comparar as teorias anteriores à pesquisa com o que existe depois dela ter sido realizada com empenho. As principais contribuições teóricas encontradas em pesquisas construtivas são: a própria construção quando esta for testada e validada em seu campo de atuação.

## 4 Modelagem

---

### 4.1 Formulações iniciais e estratégicas

Voltando-se para o PCFM, a parametrização é de grande auxílio no processo de projeto, pois minimiza os esforços no desenvolvimento de componentes de construção pouco inteligentes. Atualmente, essa disciplina se encontra inserida em uma realidade de projetos CAD em 2D ou CAD 3D, porém sem abranger os conceitos intrínsecos de BIM, tais como orientação por objetos, interoperabilidade e possibilidade de colaboração síncrona entre os agentes.

Ao alinharmos as necessidades de parametrização dos componentes do PCFM com as capacidades da plataforma REVIT adotada, podemos verificar que os componentes deverão ser classificados como famílias carregáveis (ver seção 2.7). Isso se dá pelo comportamento dos elementos que “hospedam” os componentes da forma, que no caso seria a estrutura de concreto armado que são originalmente famílias carregáveis dentro do ambiente de estruturas.

Adotou-se a estratégia de modelagem dos elementos do projeto de formas iniciando-se pela modelagem dos componentes básicos como sarrafos, pontaletes, chapas de compensado e etc, para em seguida utiliza-los em famílias maiores criando-se os subsistema de: formas de viga, formas de pilar ou formas de laje. Finalmente, essas famílias aninhadas poderão ter a nomenclatura de um molde, estrutura do molde, escoramento ou acessório, segundo a classificação dos sistemas de formas proposto por Fajerszrajn (1987) (*Tabelas 1,2 e 3*).

A seguir, demonstra-se de forma resumida o procedimento adotado para a parametrização das famílias de formas, exemplificando o desenvolvimento da modelagem, quantificação e simulação 4D do PCFM.

#### 4.1.1 *Procedimento de criação das famílias de formas*

A criação de famílias das formas seguiu um procedimento básico de parametrização de 3 passos aplicáveis ao PCFM: montagem da geometria, criação e classificação de parâmetros

e associação dos parâmetros com tipos e instâncias nas famílias. Além disso, consideraram-se alguns requisitos necessários para que seja possível a quantificação dos componentes da forma e a sua simulação 4D a partir de um cronograma de montagem do sistema.

#### 1º - Montagem da geometria dos componentes básicos

Primeiramente procurou-se entender qual a geometria de um componente básico das formas, como por exemplo o sarrafo, o pontalete, o compensado e etc. Adotou-se a geometria cúbica contendo as dimensões de altura (h), largura (l) e profundidade (p) (Figura 17). Porém, cada componente tem a sua geometria dependente da maneira como o mesmo é disposto na família de formas que ele irá compor. Isso determina a sua nomenclatura, i.e.: sarrafo com largura e comprimento no plano dos eixos x e y, respectivamente será denominado de sarrafo deitado. Cada uma das dimensões (altura, largura e profundidade) foi renomeada como parâmetros de acordo com a necessidade dos componentes, como por exemplo: Largura, Comprimento ou uma Espessura (Figura 17).

Além desse fator, foi essencial nessa etapa identificar a forma tridimensional a ser utilizada. O ambiente de famílias do REVIT proporciona diversas formas de modelagem tridimensional (i.e: extrusão, mescla, revolução, varredura, mescla por varredura e vazios), e foi com essas formas que se criou os parâmetros geométricos da família.

#### 2º - Criação e classificação de parâmetros

No ambiente de parametrização de famílias do REVIT, seguindo a disposição da Ribbon (Guia) *Criar>Propriedades>Tipos de família*, tem-se acesso aos parâmetros de uma família (Figura 17). Utilizando-se este recurso foi possível criar novos parâmetros, classifica-los de acordo com o tipo de parâmetro (linear, texto, número inteiro, sim/não, material, etc), agrupa-los de acordo com o seu uso (Dados, Construção, Dados de identidade, Visibilidade, Outros, etc) e classifica-los de acordo com a natureza da disciplina na qual ele será utilizado (Comum, Estrutural, HVAC, Tubulação, Elétrica e Energia). Também foi possível criar fórmulas para a manipulação dos dados contidos nos parâmetros. Desta forma, esses parâmetros determinaram as informações Geométricas ou não-geométricas da família.



### 3º - Determinação dos parâmetros que definem o tipo e os parâmetros de cada instância da família

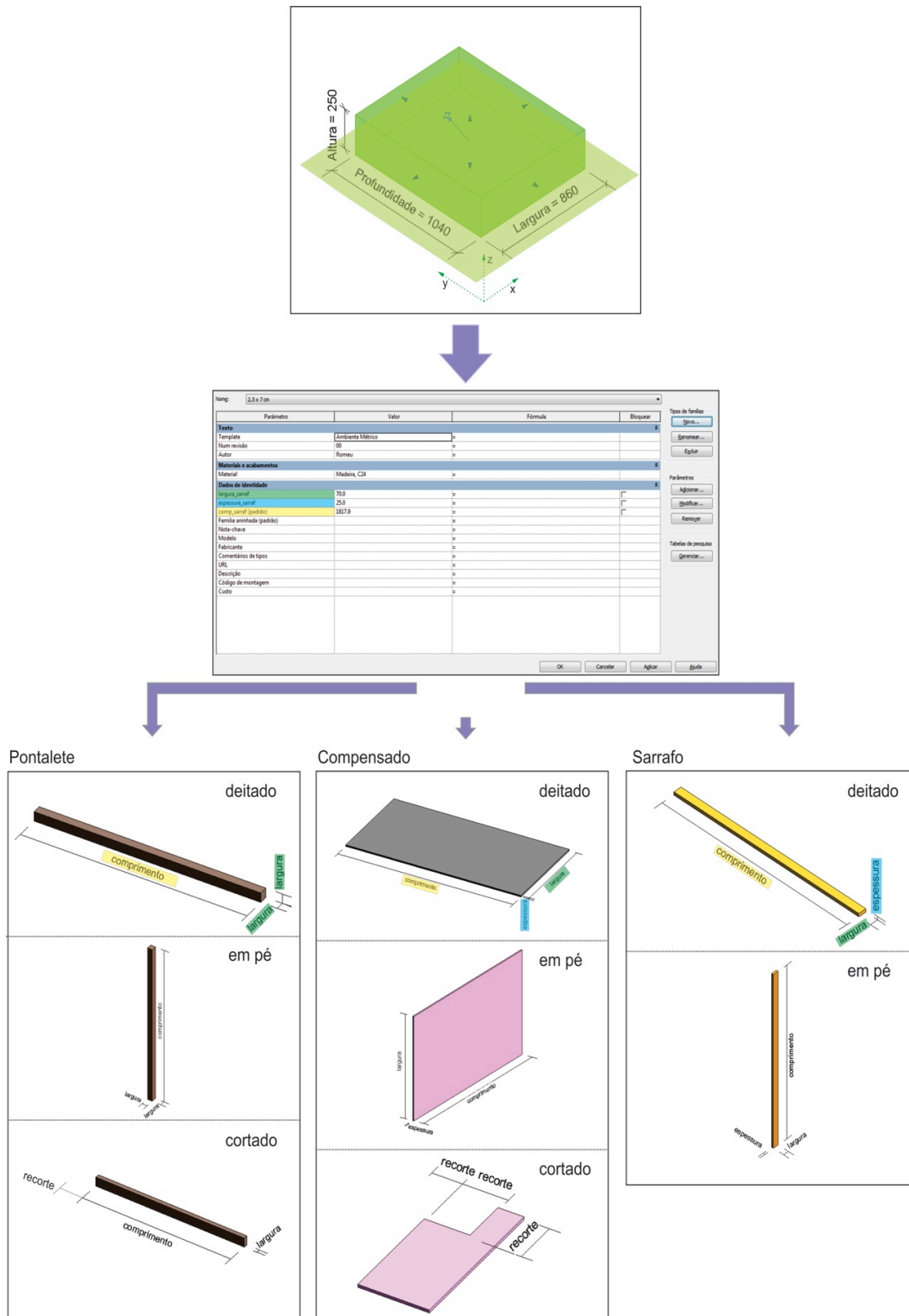
A definição de um parâmetro de tipo de família ou parâmetro de instância de família ou até de tipo ou instância compartilhados, é feita no momento da criação de um novo parâmetro na Tabela de *Tipos de família*. Essa nomenclatura é do ambiente de famílias e só existe para determinar o comportamento da família dentro do ambiente de projetos.

Parâmetros de família são particulares de cada família e suas informações são acessíveis e manipuláveis apenas na seleção das famílias no ambiente do modelo. Já parâmetros compartilhados são acessíveis por Tabelas do modelo e também por ferramentas de gerenciamento do modelo, tais como o **NAVISWORKS** da Autodesk. Por isso, foi necessário efetuar recursivos testes de implementação das famílias em um ambiente de projeto, para assim poder determinar quais as necessidades que cada família tinha para cada objetivo, considerando demandas de quantificação e da simulação 4D.

Por fim a diferenciação de um parâmetro de instância e um parâmetro de tipo foi escolhida, avaliando como esse parâmetro se comportaria em relação ao tipo ou a instância da família no modelo (ver Figura 10).

As famílias de componentes básicos possuem variações simples. Elas em sua grande maioria, foram modeladas como extrusões ou varreduras, contendo quando necessário um vazio para definir um corte (i.e. corte no painel de compensado e corte no pontalete) e cada componente possuía uma característica específica para o seu uso, conforme ilustrado na Figura 17.

**Figura 17 - Criação de componentes básicos**



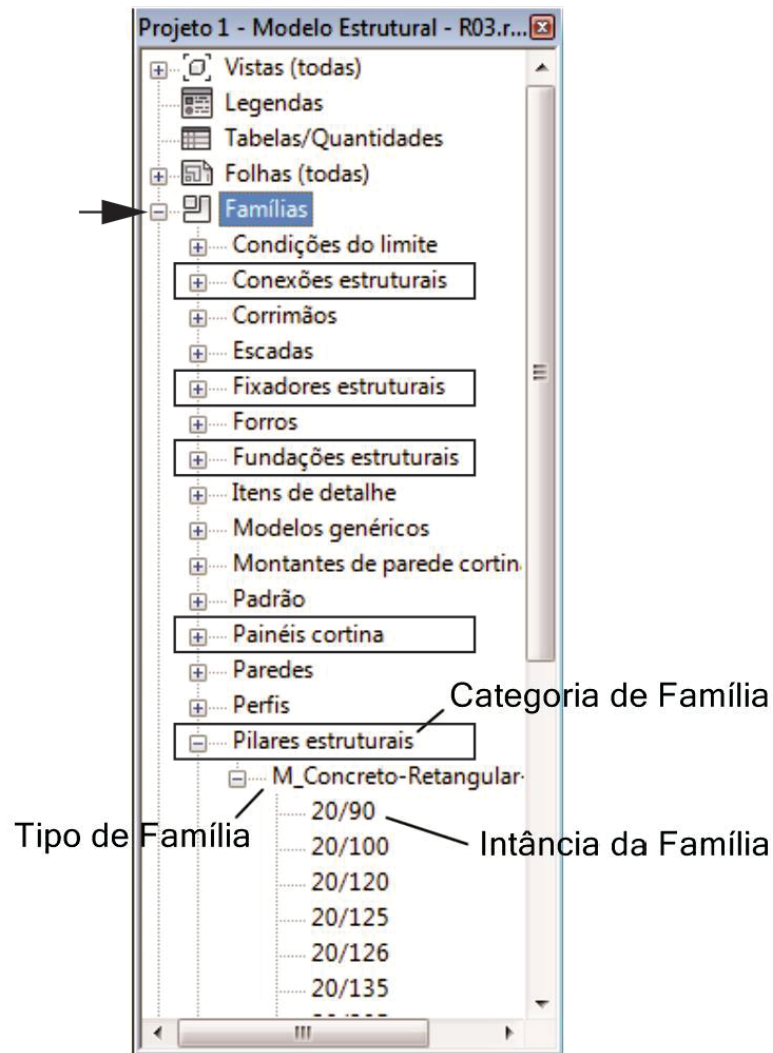
## **4.2 Implementações graduais (tentativa e erro)**

Após estudado o processo de criação dos componentes básicos das famílias das formas, realizaram-se refinamentos do processo de projeto. Esta etapa envolveu múltiplos ciclos de "tentativa e erro" do processo de modelagem dos componentes, possibilitando a implementação empírica das “construções” necessárias para o método da pesquisa.

### ***4.2.1 Estratégia de implementação da modelagem paramétrica através das famílias de formas***

As famílias do *REVIT* possuem comportamentos diversos, dependendo da categoria de família em que o objeto se encontra. O *REVIT STRUCTURE* oferece para a modelagem do projeto estrutural categorias de famílias de elementos estruturais como: pilares estruturais, quadros estruturais (vigas), pisos (lajes), conexões estruturais entre outros (Figura 18). Estas categorias de famílias, fornecidas pela ferramenta para o projeto estrutural, não são Famílias de Sistema, diferentemente das categorias de famílias para o projeto arquitetônico. Desta forma, não é possível criar famílias que se relacionem com os objetos estruturais, como acontece com as famílias de janelas e paredes por exemplo. As janelas e portas são uma categoria de famílias carregáveis, porém elas possuem relações com uma categoria de família de sistema, que são as famílias de paredes. As janelas e portas são hospedadas em paredes, permitindo que sendo uma parede eliminada do projeto as portas e janelas nela inseridas são eliminadas também.

**Figura 18 - Categorias de famílias do REVIT STRUCTURE**



**Fonte: do autor**

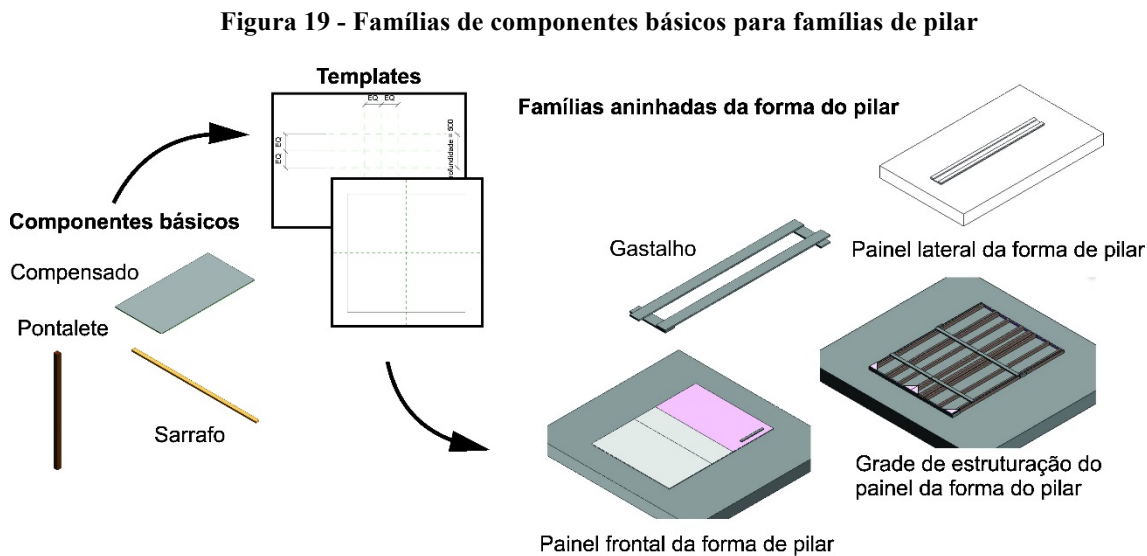
Para que se viabilizasse a modelagem de componentes de formas que se relacionassem com as categorias de famílias estruturais (pilares, vigas e lajes), foi necessário utilizar recursos específicos para cada subsistema de formas. Para cada subsistema de formas foram utilizados arquivos templates baseados em face, ou baseados em dois níveis, ou baseados em linha ou até mesmo com a simples funcionalidade de basear-se no plano de trabalho. Essas propriedades advindas do arquivo template da família<sup>8</sup>, são herdadas pela família que

<sup>8</sup> ver item 2.10, *Famílias carregáveis*, p 54

ela irá criar. Sendo assim, uma família criada em um template com base em face, terá a propriedade de reconhecer as faces de um elemento do modelo, assim como uma família criada em um template com base em dois níveis, terá a propriedade de reconhecer automaticamente a altura entre dois níveis (nível base e nível de topo). Essas e outras propriedades serão descritas nas seções seguintes, de acordo com o subsistema correspondente.

#### 4.2.2 Modelagem das famílias das formas do subsistema Pilar

A criação das famílias de formas, requer uma capacitação própria das famílias do REVIT conhecida como famílias aninhadas ou *nested families*. Assim como o próprio nome sugere, essa capacidade é o processo de se inserir famílias dentro de outras famílias. Para as famílias de formas, assim como já descrito, foram criadas famílias de componentes básicos e essas famílias foram aninhadas dentro de outras famílias, originárias de arquivos templates específicos que determinassem certas propriedades da família aninhada final, conforme ilustrado pela Figura 19.

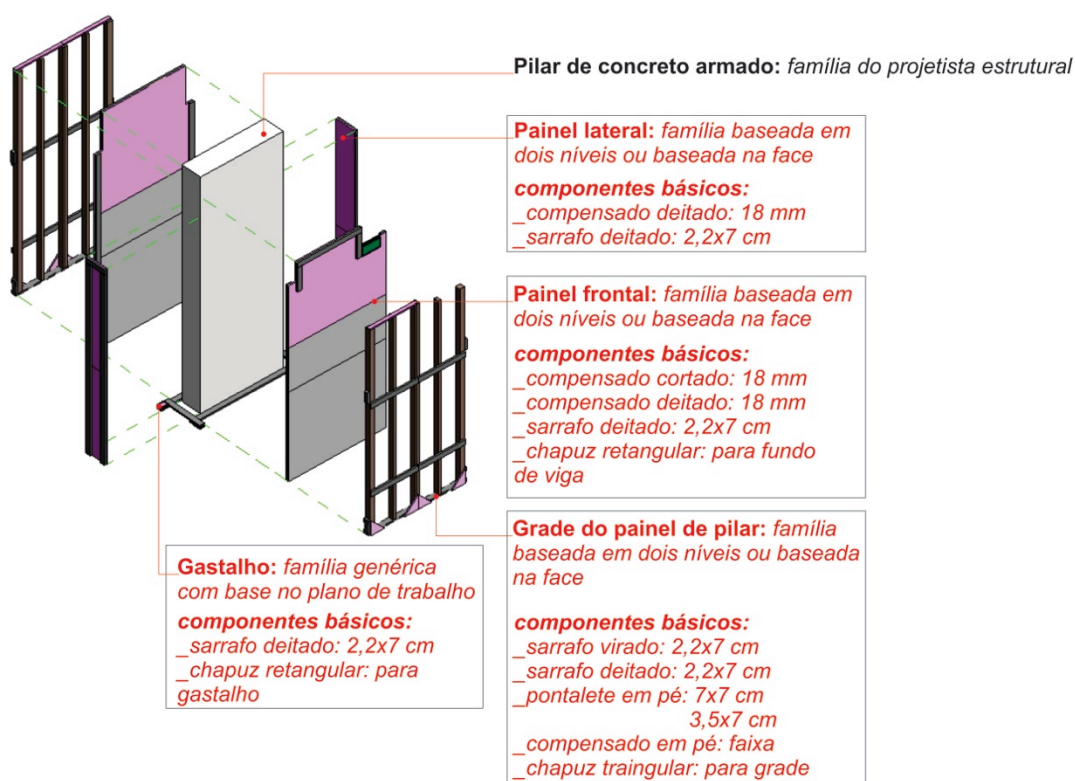


Fonte: do autor

Depois de feito os aninhamentos, segue-se o processo de estruturação<sup>9</sup> da família. Essa estruturação requer um planejamento estratégico, relacionado à escolha do template a ser utilizado para a criação da família. Também é necessário um raciocínio lógico de programação para estabelecer as relações entre parâmetros, planos de referência, sólidos e o comportamento geral da família no modelo de informação da construção.

As famílias de formas de pilar estão descritas na Figura 20 e possuem uma estruturação e programação descrita no Apêndice A.

**Figura 20 - Famílias de formas de pilar**



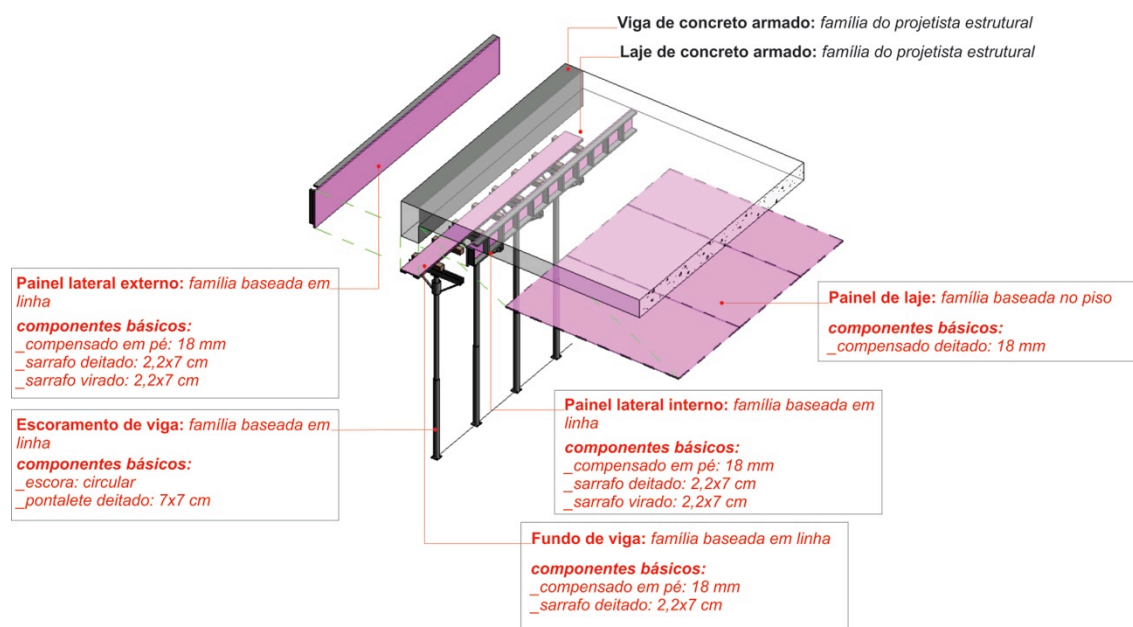
(Fonte: do autor)

<sup>9</sup> ver item 2.7.1

### 4.2.3 Modelagem das famílias das formas do subsistema de vigas

Já a criação das famílias de formas do subsistema de vigas fez uso do template baseado em linha. Isso se deu, pela capacidade que esse template tem de se instanciar elementos lineares ao longo de um parâmetro pré-definido denominado de “**comprimento**”.

Figura 21 - Famílias de forma de viga



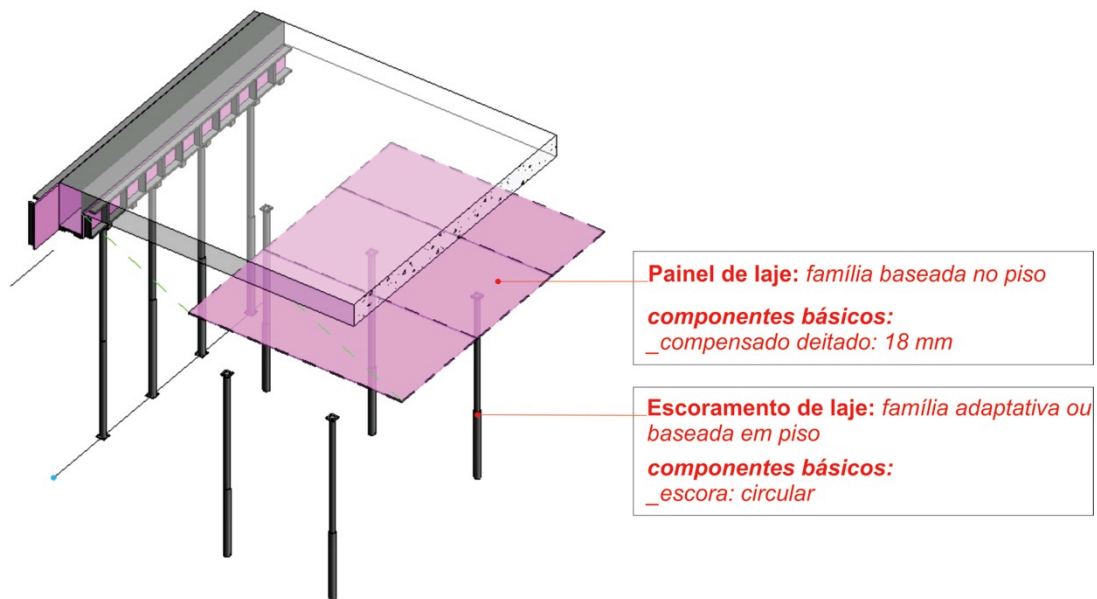
Fonte: do autor

### 4.2.4 Modelagem das famílias das formas do subsistema de lajes

Por fim as famílias de lajes são construídas a partir de um arquivo template baseado no piso ou a combinação do template de famílias adaptativas. Isso proporciona que todos os elementos inseridos no modelo, automaticamente se hospedem em um piso (laje) existente e tenham o maior grau de inteligência paramétrica possível no modelo de informação da construção.

Essas famílias são descritas na Figura 22.

**Figura 22 - Famílias de formas de laje**



**Fonte: do autor**

#### **4.2.5 Classificação e ordenação das famílias**

A classificação dos componentes segue o princípio da classificação de *Level of Detailing (LOD)* que consiste em diferenciar o nível de detalhamento dos componentes a partir do uso que cada um terá no modelo de informação, conforme o documento E202 estabelecido pelo Instituto Americano de Arquitetos que descreve essa classificação (AIA, 2008). Todos os componentes são classificados como componentes para o nível de detalhe para a construção (LOD500). Porém, para organizar as famílias de formas, foi feita uma separação das família no PCFM. foi feita a seguinte divisão para os arquivos das famílias:

1. Componente básico
2. Família Aninhada
3. Família de anotação



Essa classificação visa à clareza do processo de instanciação e montagem do modelo que é importante para a primeira etapa do projeto, finalizando na criação do modelo de informação das formas para a documentação.

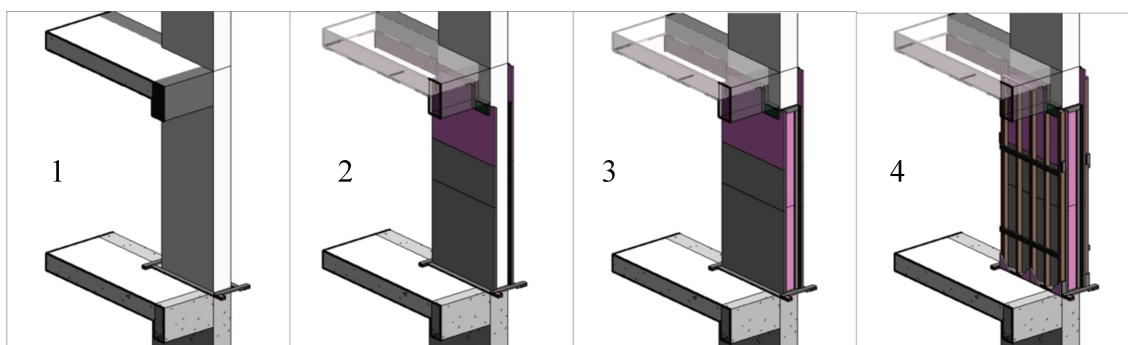
#### ***4.2.6 Modelagem das formas no projeto estrutural***

A inserção das formas em BIM requer o modelo estrutural desenvolvido em 3D e na solução proposta requer a estrutura modelada com os objetos estruturais do REVIT STRUCTURE. As famílias para o PCFM devem ser carregadas no aplicativo REVIT STRUCTURE e deve-se envolver a estrutura com a forma apropriada. Inicia-se com a modelagem das formas de pilar. A inserção das famílias das formas pode ser feita diretamente sobre o modelo RVT da estrutura de concreto armado ou utilizando da função “REVIT link”. Essa função proporciona a utilização de um modelo referenciando, em que o modelo estrutural está em outro arquivo. A utilização dos modelos estruturais apenas do pavimento tipo a ser detalhado, propicia também arquivos menores e consequentemente a facilidade de manusear o modelo das formas, de onde será extraída a documentação para a construção. A origem desse modelo estrutural é diversa, podendo vir de várias aplicações de modelagem estrutural. A modelagem estrutural não é o foco desta pesquisa, porém foram identificadas algumas ferramentas que pudessem exercer essa função, tais como o TEKLA da Trimble, o TQS da TQS Informática, o próprio REVIT Structure da Autodesk, entre outros. Dentre essas ferramentas, o TQS foi a ferramenta utilizada, juntamente com o *plug-in* para o REVIT fornecido pelo fabricante, para elaborar o modelo estrutural a ser “envolvido” pelas famílias das formas de um projeto de estudo de caso. Essa interoperabilidade se mostrou falha em alguns pontos, porém com um processo de checagem e adaptação possibilitou a execução do estudo de caso realizado que será melhor descrito posteriormente.

O REVIT permite que os componentes sejam instanciados em sequências aleatórias, porém recomenda-se que se inicie a modelagem das formas de pilar pelo Gastalho (Figura 23, 1). Esta família possui dois eixos ortogonais centrais. Estes eixos devem estar alinhados aos eixos ortogonais centrais do pilar de concreto do projeto. Isso pode ser feito com o próprio posicionamento da família sobre a planta de pilares, pois a interface gráfica do REVIT

disponibiliza de recursos de alinhamento e posicionamento automático das famílias ao serem instanciadas. Caso haja desalinhamentos, existem ferramentas específicas para os ajustes necessários. Esse processo de alinhamento deve ser repetido com as famílias de Painel de pilar lateral, frontal e a Grade do pilar (Figura 23, 2, 3 e 4). A única diferença com essas últimas famílias é que elas devem ser instanciadas com o reconhecimento da face dos pilares. A adaptação da largura do painel será feita por parâmetros definidos na modelagem da família, porém essa adaptação é feita de forma manual. Conforme mencionado anteriormente, as funcionalidades do REVIT podem ser otimizadas com a utilização de aplicativos. Dessa forma, foram identificados aplicativos<sup>10</sup> que dispunham de recursos que automatizassem esse processo de instancição anteriormente descrito, eliminando assim, possíveis erros no processo manual de instancição. Após a instancição de todas as famílias de formas de pilar, inicia-se um processo de ajuste dos componentes com as interferências existentes entre pilar de concreto e vigas e lajes que se apoiem nesse elemento. Isso é feito de forma manual, a partir de parâmetros inseridos nas famílias aninhadas. Esses parâmetros possibilitam o ajuste automático dos componentes básicos dentro das famílias de formas. Um exemplo de um desses parâmetros é a Altura da viga que “sai” à direita do painel de pilar. Essa altura é determinada manualmente e também é identificada manualmente pelo usuário (verificação do valor do parâmetro de altura da família da viga que está saindo à direita do painel, visto de frente).

**Figura 23 - Sequência de modelagem da forma de pilar na estrutura**

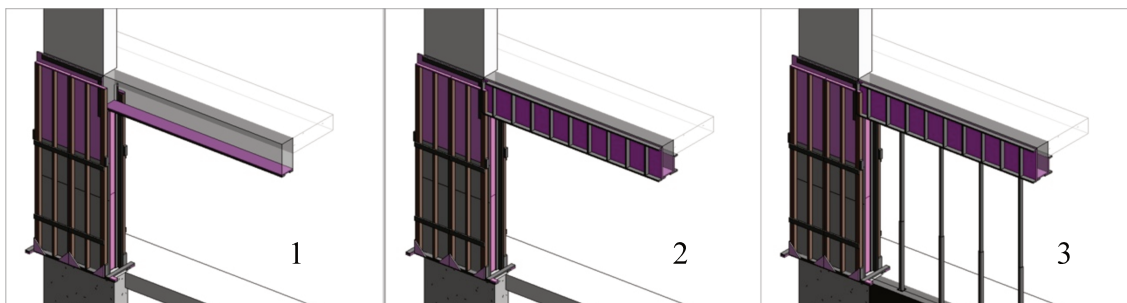


<sup>10</sup> Insert Elements da Tools4REVIT: <http://www.aga-cad.com/tools4REVIT/Smart-Modeling/Insert-Elements.html>

**Fonte: do autor**

Finalizada a modelagem da forma de pilar, inicia-se a modelagem da forma de viga. As famílias das formas de viga possuem a propriedade de serem instanciadas em linha. Ou seja, será criada uma linha ao longo dos contornos da viga que definirá o início e fim dos limites das famílias da forma da viga. A sequência de modelagem, assim como para as famílias de forma de pilar, pode ser feita aleatoriamente. As famílias a serem instanciadas são: o Painel de fundo de viga (Figura 24, 1) e os Painéis laterais da viga (Figura 24, 2). Esta última família pode ter um rebaixo devido à altura da laje que possui encontro com a viga. Este parâmetro também será inserido na família aninhada, ajustando todos os componentes básicos aninhados na família. Finalizado esse ajuste dos painéis, será modelado o escoramento de viga (Figura 24, 3). As famílias de escoramento de viga também serão inseridas com base em uma linha e terão seus parâmetros de altura e espaçamento ajustados manualmente.

**Figura 24 - Sequência de modelagem da forma de viga na estrutura**

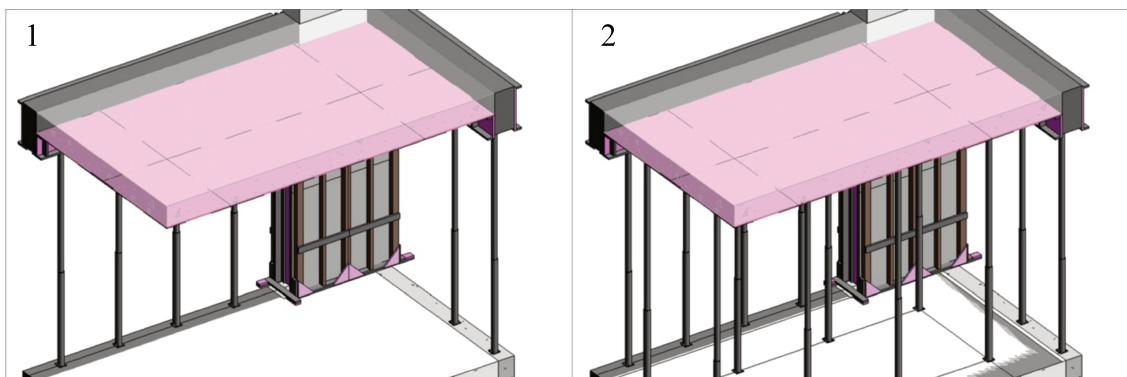


**Fonte: do autor**

Por último é feita a modelagem da forma de laje. Essas famílias possuem duas propriedades distintas. Primeiramente, a família de painel de laje possui a propriedade de identificar automaticamente a espessura da laje na qual o painel será inserido (Figura 25, 1). Já as famílias de escoramento, possuem uma propriedade avançada das famílias do REVIT conhecida como famílias adaptativas. Essas famílias possuem a característica de serem instanciadas e a sua geometria definida por pontos de inserção no projeto. As famílias de escoramento da laje possuem quatro pontos de inserção que devem ser inseridos nos vértices do pano de laje da estrutura. Esses pontos devem ser inseridos no sentido horário,

criando-se assim um plano que está situado no mesmo nível da laje de um pavimento da estrutura. Após inseridos esses pontos, será instanciado o número automático de escoras da laje (Figura 25, 2). Esse número pode ser modificado de acordo com o espaçamento entre escoras, também definido por um parâmetro da família de escoramento de laje.

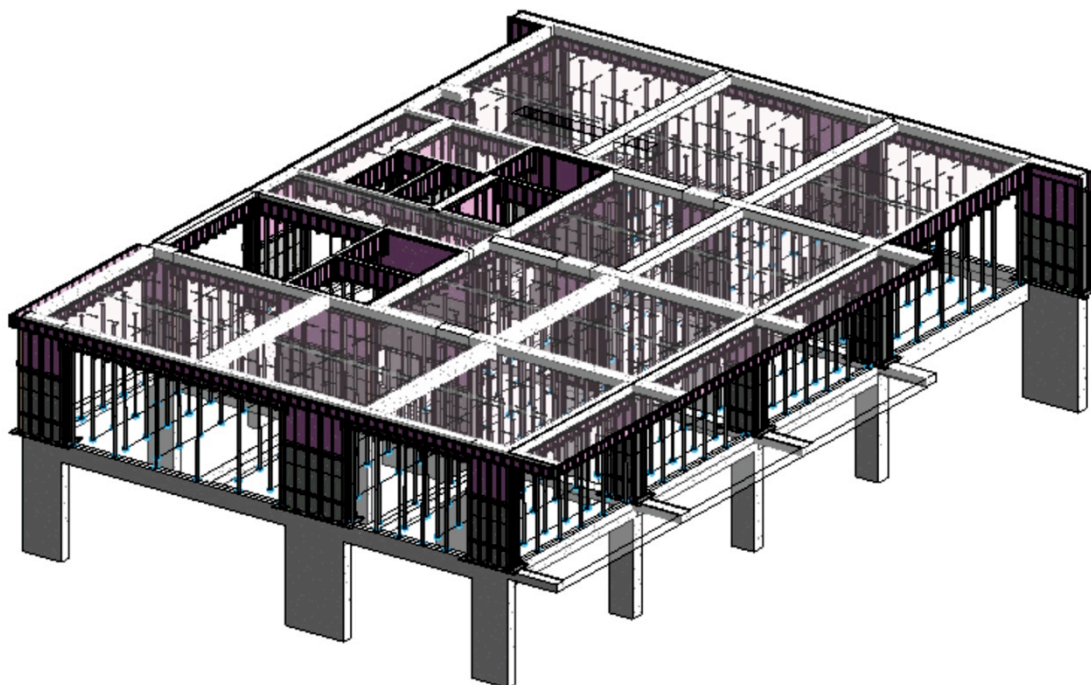
**Figura 25 – Sequência de modelagem da forma de laje na estrutura**



**Fonte: do autor**

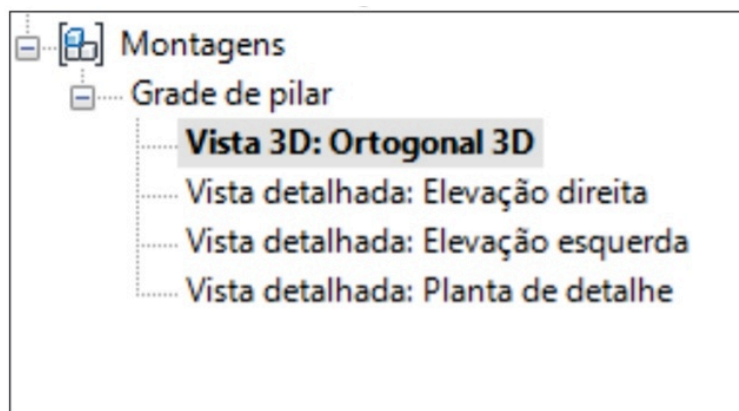
Uma vez modeladas todas as formas em um projeto, contendo um pavimento tipo de uma edificação de concreto armado, por exemplo (Figura 26) podemos determinar que cada conjunto de famílias será uma Montagem ou Assembly do REVIT. Essa propriedade, cria uma classificação específica (Figura 27) para o conjunto de elementos selecionados do modelo e proporciona a criação de vistas de cada “Montagem” individualmente. Essa propriedade do REVIT é essencial para o processo de documentação do modelo, principalmente do modelo do PCFM que consiste de várias famílias aninhadas, montadas de acordo com a necessidade da estrutura de concreto armado a ser moldada no local. Cada montagem será criada separadamente para cada elemento de cada subsistema de formas e enumerado de acordo com o elemento estrutural correspondente (ex: formas de pilar: montagem do Gastalho – P1, montagem do Painel frontal – P1, montagem do painel lateral – P1, etc). Depois de criada cada montagem, são extraídas de cada uma, vistas detalhadas do mesmo, de acordo com a necessidade de representação gráfica do elemento para o processo de documentação (Figura 28). Essas “vistas”, serão posteriormente arrastadas para um formato padrão de prancha, definindo um esquema de montagem com cotas e anotações que formarão a documentação a ser enviada para a confecção das formas na obra.

Figura 26 – Modelo Estrutural com inclusão das formas



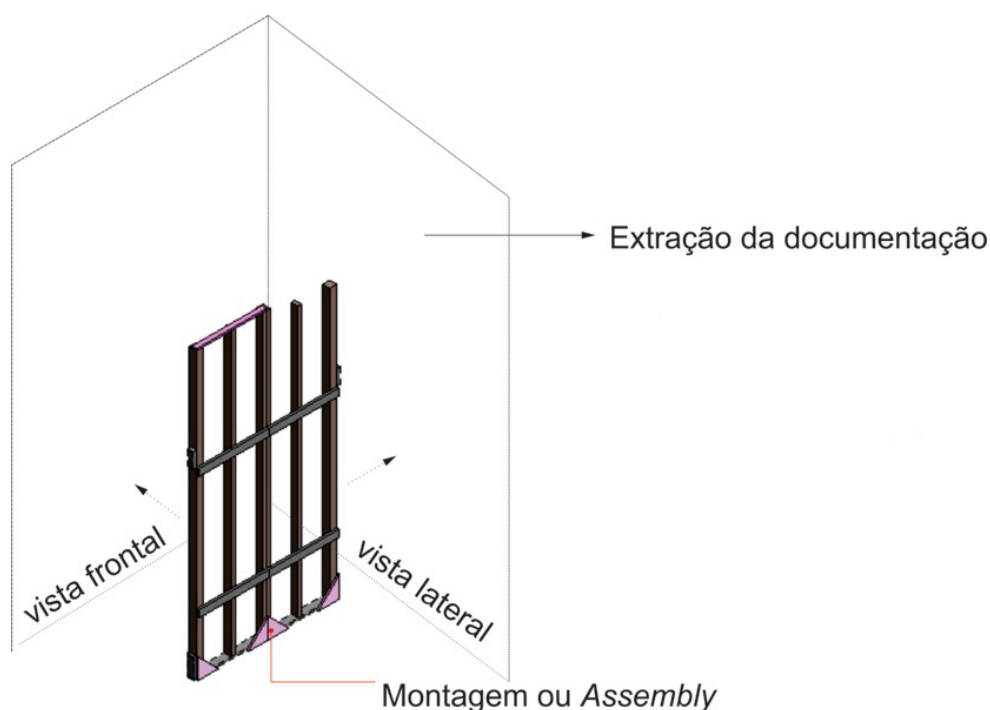
Fonte: do autor

Figura 27 - Classificação específica para montagem ou assembly



Fonte: do autor

**Figura 28 - Documentação através de Montagens ou Assemblies**



Fonte: do autor

#### ***4.2.7 Estudo de caso de um projeto***

O estudo de caso desenvolvido consistiu de um empreendimento comercial de duas torres, cada uma contendo 22 pavimentos, sendo desses, 20 tipos e 2 pavimentos de embasamento (térreo e subsolo). Foi feita a modelagem das formas para ambas as torres de seus pavimentos de embasamento e de um pavimento tipo. As formas dos pavimentos de embasamento foram modelados devido à disparidade entre esses e os pavimentos tipo das respectivas torres. Dessa forma, foi possível prever quais foram as alterações dos elementos das formas ao longo da elevação da estrutura. A modelagem das formas partiu do modelo estrutural enviado pelo projetista de estruturas. O processo de projeto dessa etapa é apresentado na Figura 29. O último produto desse desenvolvimento foram as pranchas em formato A4 contendo os detalhamentos para a construção das formas de pilar, viga e laje, conforme exemplos no Apêndice B.

**Figura 29 - Processo de modelagem do PCFM**

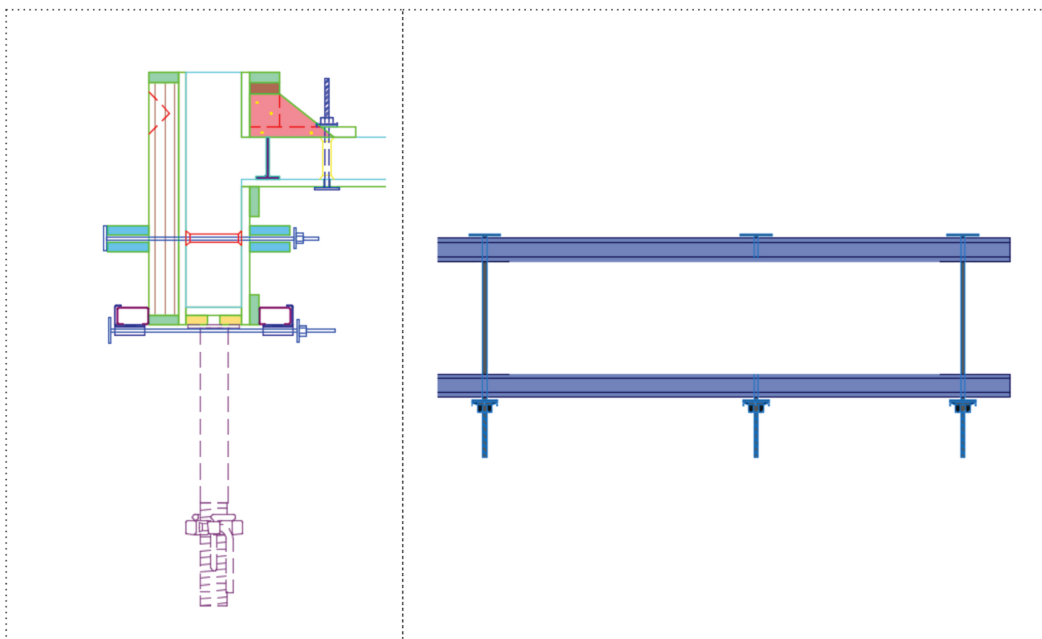


**Fonte: do autor**

### 4.3 Verificações e análises

Alguns dos processos desenvolvidos na etapa de documentação necessitam de elementos de anotação em 2D, para a melhor descrição e leitura do PCFM em um canteiro de obra. Essas anotações são feitas com recursos nativos da ferramenta REVIT ou com famílias de anotação, complementares às famílias de componentes que são utilizadas para a modelagem propriamente dita.

**Figura 30 - Elementos de anotação em 2D**



**Fonte: do autor**

A determinação do sistema de formas empregado será feita a partir da biblioteca de componentes utilizada. Cada solução dos diferentes sistemas de formas necessita de

diferentes abordagens de modelagem, sendo assim diferentes bibliotecas de famílias. O sistema de formas retratado nessa seção segue considerações feitas por um tipo de sistema de forma mais comum utilizado na região de São Paulo. Existem vários outros presentes em canteiros de obras brasileiros. Essas mudanças ocorrem de região para região do país e também entre diferentes projetistas, que possuem expertise em tipos específicos de sistemas de formas, que não serão citados neste trabalho, pois este assunto está presente na literatura relacionada (MORIKAWA; DEMARZO, 2003; NAZAR, 2007; REQUENA, 1983; SH FÔRMAS, 2000).



## 5 Quantificação

---

### 5.1 Formulações iniciais e estratégicas

A quantificação no REVIT acontece através da criação de Tabelas. Essas tabelas são categorizadas em: (a) Tabelas/Quantitativos, (b) Quantitativo de material, (c) Lista de pranchas e (d) Lista de vistas. As Tabelas de quantitativos dos componentes se diferenciam no tipo de informação que será extraída para ela. Nas Tabelas/Quantitativos as informações são gerais para todos os componentes do projeto. Já para as Tabelas de Quantitativo de material, as informações estão relacionadas ao material que é aplicado a um determinado componente. Sendo assim, essas informações de material, como por exemplo o material aplicado nas camadas de uma família de parede, são apresentadas de forma separada. Já as duas últimas categorias de tabelas, estão relacionadas a apresentação de informações para a documentação e serão utilizadas ao final do processo de criação das pranchas, onde é possível que se crie uma listagem de toda a documentação do modelo a ser extraída.

As tabelas de componentes são criadas de acordo com a Categoria da família que se deseja quantificar. Cada categoria de família terá sua seleção de parâmetros (de instância ou de tipo) pré-definidos. Por exemplo, a categoria de família de Janelas terá por padrão parâmetros relacionados ao elemento janela, tais como altura, largura, altura do patamar e etc. Esses parâmetros são apresentados separadamente por colunas de uma Tabela criada pelo REVIT. Após inseridos os parâmetros que se deseja quantificar, é possível filtrar, agrupar, resumir, formatar e até somar e totalizar os valores dos parâmetros por coluna. Porém essa seleção de parâmetros ainda pode ser expandida no caso da presença de *parâmetros compartilhados* em uma determinada categoria de família.

Para que seja possível a quantificação com as famílias de formas, deve-se seguir uma estratégia simples, porém essencial quando se trata de trabalhar com famílias aninhadas no REVIT. Como já tratado no item 4.1.1, no segundo passo do procedimento básico de criação das famílias de formas, os parâmetros das famílias são informações acessíveis no modelo de diferentes maneiras. Para o processo de quantificação é importante entender

como se comportam os Parâmetros Compartilhados além de se entender o comportamento de cada parâmetro dos componentes básicos dentro das famílias aninhadas e qual seria a definição dos parâmetros das próprias famílias aninhadas. Ou seja, se esses parâmetros seriam *parâmetros de instância* ou *parâmetros de tipo*. Uma descrição mais detalhada de cada forma de parâmetros do REVIT é feita na Tabela 7.

**Tabela 7 - Descrição dos tipos de parâmetros do REVIT**

TIPOS DE PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
<i>Parâmetros de Tipo</i>	São aqueles parâmetros que determinam informações geométricas ou não-geométricas à uma família em seu nível de “Tipo de Família” (ver Figura 10, item 2.7).
<i>Parâmetros de Instância</i>	São aqueles parâmetros que determinam informações geométricas ou não-geométricas à uma família em seu nível de “Instância de Família”.
<b>Parâmetros de família</b>	Parâmetros que armazenam informações restritas às famílias da qual ela pertence.
<b>Parâmetros compartilhados</b>	Parâmetros que armazenam informações compartilhadas com o ambiente de Projetos. Dessa forma, suas informações serão acessíveis por tabelas. Todos os parâmetros compartilhados necessitam de um arquivo de texto de referência que irá armazenar a nomenclatura dos parâmetros, suas propriedades de “Tipo de Parâmetro” e a possibilidade de agrupamento de diferentes parâmetros definidos pelo usuário.
<b>Parâmetros de projeto</b>	Parâmetros que armazenam informações específicas de uma determinada categoria de família. Sendo assim, esses parâmetros farão parte de todas as famílias de uma determinada categoria. Sendo possível, também, fazer parte de mais de uma categoria de família.

**Fonte: do autor**

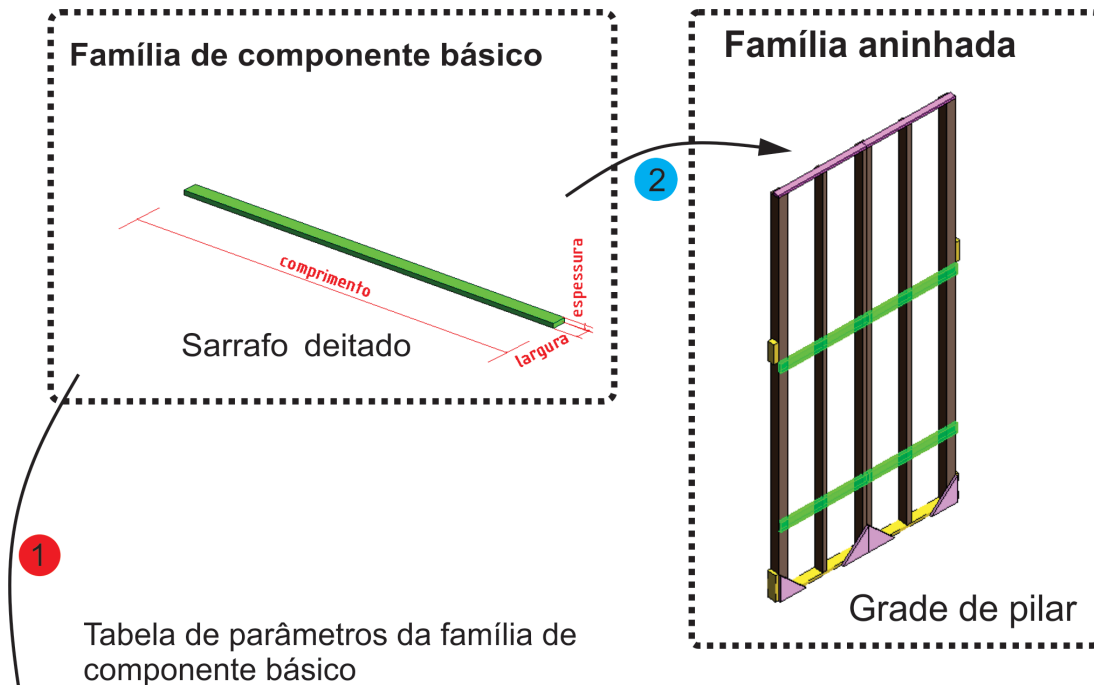
Alguns parâmetros de famílias de forma, definirão informações geométricas e não geométricas dos componentes. Porém, esses parâmetros também serão tidos como parâmetros compartilhados, sendo assim, passíveis de serem apresentadas em tabelas do modelo que contiverem as famílias instanciadas. Essas informações podem ser manipuladas nas Tabelas de quantitativo criadas pela plataforma. Por esse motivo, é possível, por

exemplo, quantificar de maneira automática, informações tais como o somatório dos comprimentos de componentes básicos, tais como: sarrafos e pontaletes, sendo possível também classifica-los de acordo com as suas dimensões (largura e espessura).

Na solução desenvolvida, os parâmetros dos componentes básicos foram em sua grande maioria, parâmetros que determinam as dimensões geométricas do componente (Largura, espessura, comprimento, etc). Porém, foi necessária a criação de outros parâmetros que determinassem funções complementares à família de componente básico. Um desses parâmetros foi o parâmetro que armazena a origem e o destino do componente básico na família aninhada. Ou seja, todas as famílias de formas, receberão um parâmetro que possa armazenar a informação “de onde vem” e “para onde vai” cada componente do sistema de formas. Por exemplo, será possível separar a quantidade de sarrafos utilizados na confecção de cada painel de pilar. Esses parâmetros criados nas famílias de componentes básicos, tanto os geométricos quanto os não-geométricos serão “rotulados” com informações de parâmetros da família aninhada. Esse processo está descrito nas Figuras 31 e 32.

Dessa forma, iniciou-se criando os parâmetros que armazenam informações geométricas e não-geométricas nos componentes básicos. Logo em seguida, esse componente básico foi inserido em uma família aninhada e dessa família aninhada, foram criados outros parâmetros que criaram restrições (geométricas ou não) ao componente básico. Isso, por fim resultou em uma maneira de se quantificar e rastrear os elementos do sistemas de formas, em um processo de aninhamento de famílias do REVIT.

Figura 31 - "Rotulação" dos parâmetros das famílias de formas – parte 1



Parâmetro	Valor	
<b>Texto</b>		
Template	Ambiente Métrico	=
Num revisão	00	=
Autor	Romeu	=
<b>Materiais e acabamentos</b>		
Material	Madeira, C24	=
<b>Dados de identidade</b>		
largura_sarrafa	70.0	=
espessura_sarrafa	25.0	=
comp_sarrafa (padrão)	1817.9	=
Família aninhada (padrão)		=
Nota-chave		=
Modelo		=
Fabricante		=
Comentários de tipos		=
URL		=
Descrição		=
Código de montagem		=
Custo		=

1. Criação de parâmetros que definem informações geométricas e não-geométricas dos componentes básicos
2. Inserção dos componentes básicos nas famílias aninhadas

Fonte: do autor

Figura 32 - "Rotulação" dos parâmetros das famílias de formas – parte 2

## Tabela de parâmetros da família aninhada

Parâmetro	Valor	Fórmula
<b>Restrições</b>		
Elevação-padrão	0.00	=
<b>Construção</b>		
Travamento esquerdo (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	=
Travamento direito (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	=
Recorte nos pontaletes centrais (padrão)	10.00	=
Recorte no pontalete esquerdo médio (padrão)	10.00	=
Recorte no pontalete esquerdo (padrão)	10.00	=
Recorte no pontalete direito médio (padrão)	10.00	=
Recorte no pontalete direito (padrão)	10.00	=
Rebaixo da grade (padrão)	27.29	=
Pontalete esquerdo médio<Conexões estruturais> (padrão)	Pontalete deitado : Meio	=
Pontalete esquerdo<Conexões estruturais> (padrão)	Pontalete deitado : Inteiro.	=
Pontalete direito médio<Conexões estruturais> (padrão)	Pontalete deitado : Meio	=
Pontalete direito<Conexões estruturais> (padrão)	Pontalete deitado : Inteiro	=
Pontalete central 2<Conexões estruturais> (padrão)	Pontalete deitado : Meio	=
Pontalete central 1<Conexões estruturais> (padrão)	Pontalete deitado : Meio	=
<b>Texto</b>		
Template	Modelo genérico métrico com b	=
Num revisão	00	=
Face (padrão)		=
Data	12/11/2012	=
Autor	Romeu	=
<b>Materiais e acabamentos</b>		
Material estrutural (padrão)	Pine	=
<b>Dados</b>		
pe_direito	323.00	=
Face_Pilar	120.00	=
<b>Visibilidade</b>		
P108_P148	<input checked="" type="checkbox"/>	= and(or(Face_Pilar > 104 cm, Face_Pilar = 104 cm), or(Face_Pilar < 148 cm, Face_Pilar = 148 cm))
<b>Dados de identidade</b>		
largura_sarraf	7.00	=
largura_pont	7.00	=
espessura_sarraf	2.20	=
espessura_comp	1.80	=
comp_pontalete (padrão)	289.51	= pe_direito - 2 * espessura_sarraf - espessura_comp - Rebaixo da grade
M4..	1.00	=
M4.	35.78	= if(and(or(Face_Pilar > 104 cm, Face_Pilar = 104 cm), or(Face_Pilar < 148 cm, Face_Pilar = 148 cm)), abs(0.52 * Grade), 1 cm)
M4	36.00	= roundup(M4. / M4..) * M4..
M1..	1.00	=
M1	36.00	= roundup(M1. / M1..) * M1..
M1	35.78	= if(and(or(Face_Pilar > 104 cm, Face_Pilar = 104 cm), or(Face_Pilar < 148 cm, Face_Pilar = 148 cm)), abs(0.52 * Grade), 1 cm)
Grade_dupla	137.60	= Face_Pilar + 2 * espessura_comp + 2 * largura_pont
Grade	68.80	= Grade_dupla / 2
Família aninhada	Grade de pilar	= "Grade de pilar"
Comentários de tipos	Grade de pilar	= "Grade de pilar"
Nota-chave		=
Modelo		=

**3. Criação dos parâmetros de restrição dos componentes básicos dentro da família aninhada**

**4. Rotulação dos parâmetros das famílias aninhadas**

Sarrafo deitado  
2,2 x 7 cm

Conexões estruturais (1)

Restrições

Nível:

Hospedeiro:

Deslocamento:

Move com elementos pró... ☐

Gráficos

Visibilidade/Sobreposição...

Visível: ☒

Cotas

comp\_sarraf:

Volume:

Dados de identidade

Família aninhada:

Comentários

Marca

Dados

ID Componente:

Outros

Legenda:

= 4

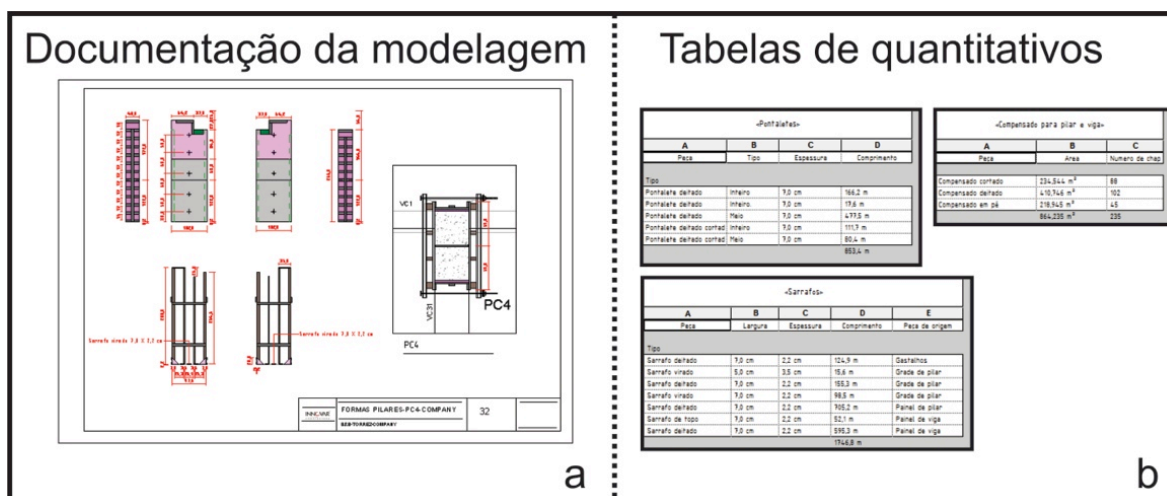
Durante a criação desses parâmetros descritos, vê-se necessária a determinação de que alguns desses parâmetros sejam parâmetros compartilhados, pois assim, todas as informações das famílias de formas serão acessadas e manipuladas por tabelas de quantitativo do REVIT.

## 5.2 Implementações graduais (tentativa e erro)

As informações da quantificação a serem documentadas em tabelas no modelo, serão um retrato fiel da organização das informações geradas nas famílias de componentes básicos e nas famílias aninhadas. Ou seja, caso os passos descritos na seção 4.1.1 delimitados na etapa anterior de modelagem e as estratégias da seção 5.1, não sejam seguidos, as informações geradas nesta etapa, não poderão ser confiáveis. Consequentemente, esta etapa de quantificação também serve como um processo de revisão das informações geradas até este momento do processo de projeto, pois será necessário revisitar todas as condicionantes de modelagem e quantificação que por algum descuido ou negligência tenham ficado incorretas.

Segue-se neste processo cíclico de revisões até que exista o perfeito alinhamento entre as informações geométricas geradas pelo modelo para a documentação (Figura 33, a) e as informações geradas em tabelas pelo REVIT (Figura 33, b) que em seguida também servirão de informações para a documentação geral do PCFM a partir de um *template* de projetos.

**Figura 33 - Revisão da documentação da modelagem através das tabelas de quantitativos**



Fonte: do autor

As Tabelas de quantitativo são separadas entre categorias de famílias, porém as tabelas foram duplicadas e separadas de acordo com os três subsistemas de formas, de pilar, viga e laje. Foram utilizadas as seguintes Categorias de família para a criação de Tabelas:

**Conexões estruturais** contêm as pequenas peças de sarrafo necessárias para a montagem das formas. Já a categoria de **Quadro Estrutural** contêm todos os sarrafos e pontalões das formas. Sendo assim, foram criadas diferentes Tabelas para cada subsistema de forma. Isso foi necessário para a separação, por exemplo, dos sarrafos utilizados na confecção das formas de pilar daqueles sarrafos utilizados na confecção das formas de viga. Essa mesma abordagem foi feita com a categoria de família de **Fixadores estruturais** que contêm as famílias de compensado. Dessa forma, foi possível a separação dos compensados do painel da forma de pilar, do compensado utilizado na forma de laje, por exemplo.

As tabelas geradas no estudo de caso realizado estão presentes no Apêndice B e, conforme já descrito são apresentadas separadamente para as formas de vigas, pilares e lajes. Porém, são agrupados os componentes semelhantes, realizando a somatória dos comprimentos de cada componente. Isso possibilitou a quantificação e precificação desses elementos que geralmente são comprados em uma unidade de metros lineares ou metros quadrados no caso dos compensados.

### 5.3 Verificações e análises

A análise de custo de uma obra é feita por orçamentistas que preveem a quantidade de material e mão de obra a serem gastos por uma unidade de medida (metro quadrado, metro linear, metro cúbico, etc) de um determinado serviço de obra. Essas informações são dispostas em tabelas que são denominadas de **composições de serviço**. No caso das formas de madeira, a composição de serviço possui a quantidade de material e mão de obra para a execução de um metro quadrado de forma de madeira de um determinado subsistema (pilar, viga e laje). Na Tabela 8 temos um exemplo de composição de serviço para a orçamentação do serviço de confecção de formas de pilar. O preço por metro quadrado da composição será multiplicado pela metragem quadrada que representa a área total de contato do molde da forma com o concreto. Ao final, teremos o valor total a ser gasto para a confecção de todas as formas de pilar da obra. Dessa forma, fazendo uso de outras composições para as formas de viga e laje, teremos ao final o custo total do sistema de formas.

**Tabela 8 - Composição de serviço de formas**

<b>Forma feita em obra para Pilares, com chapa compensada plastificada, e = 12 mm (12 aproveitamentos)– unidade: m<sup>2</sup></b>		
<b>Material</b>	<b>un.</b>	<b>coeficiente</b>
Sarrafo de 2,2x 7 cm	m	0,681
Painel de compensado de 12 mm	m2	0,112
Pontalete de 7x7 cm	m	0,515
Prego 17x21 com cabeça	Kg	0,017
Prego 17x27 com cabeça dupla	Kg	0,20
Desmoldante de formas para concreto	l	0,02
Arame galvanizado 12	Kg	0,18
<b>Mão-de-obra</b>		
Carpinteiro	h	0,66
Ajudante de carpinteiro	h	0,165

**Fonte: Pini, (2013)**

A quantificação para o PCFM servirá para se determinar quais os componentes estão sendo gastos em todo o projeto, auxiliando na tomada de decisão do sistema de formas empregado. A quantificação das formas auxilia também, na análise do custo deste item em



relação ao orçamento geral da obra. Ou seja, será mais fácil quantificar em BIM o gasto das composições de serviço a partir de cada projeto. Isso aumenta a confiabilidade do orçamento e dá de antemão, informações para a tomada de decisão antes do início da obra.

A tomada de decisão a respeito do sistema de formas a ser adotado, merece um estudo mais aprofundado. Esse estudo vai além das quantidades x custo dos componentes do sistema de formas empregado. Para se tomar uma decisão embasada em dados, na escolha do sistema de formas, é preciso analisar aspectos econômicos sim, porém abordando requisitos logísticos, financeiros e culturais da obra a ser executada.

Todas as famílias de uma biblioteca de componentes BIM devem conter informações relevantes ao processo de projeto no qual elas se inserem. Isso também vale para o processo de projeto do PCFM. Pois, será de grande valor informações que sejam relevantes à tomada de decisão do sistema de formas a ser empregado em uma obra. Essas informações estão relacionadas ao custo, trabalhabilidade e consequentemente a produtividade do sistema de formas em questão. As informações de custo podem ser inseridas nas famílias e gerar uma forma dinâmica de precificação do sistema de formas de um projeto. Porém, veremos a seguir que as demais informações não podem ser inseridas nos componentes apenas como parâmetros das famílias.



## 6 Simulação 4D

---

### 6.1 Formulações iniciais e estratégicas

As informações relacionadas à produtividade, vão além das informações possíveis de serem inseridas em componentes. Estas informações são relacionadas à logística de montagem do sistema e dependem do conhecimento de obras, permitindo antever situações críticas e tomar decisões antes do início do processo de montagem do sistema de formas. Essa tomada de decisão é facilitada pela simulação 4D do modelo de informação da construção das formas. Esse produto do processo do PCFM inserido em BIM viabiliza uma experimentação virtual do processo de montagem de formas, e antecipa uma vivência da construção que anteriormente só era possível com a real vivência dos profissionais *in loco*.

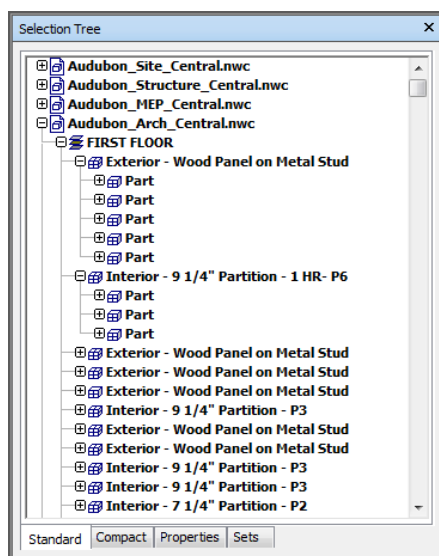
A simulação 4D do PCFM está intrinsecamente relacionada às diferentes formas de representação e visualização do modelo de informação da construção das formas. Consequentemente, a abordagem da simulação 4D possui um conceito mais amplo que as outras etapas (Modelagem e Quantificação). Isso exigiu desta etapa do trabalho, um estudo dos enfoques que a simulação 4D pode oferecer aos agentes do processo de projeto.

Alguns dos desafios encontrados com a aplicação da simulação 4D para o PCFM, foi a grande quantidade de componentes contidos no modelo de informação da construção das formas. Esses componentes deveriam ser agrupados para facilitar e viabilizar a ligação de geometria (componente) com tarefa (cronograma) permitindo que a fase de construção fosse virtualmente simulada. Depois de vencidos esses primeiros desafios, foi avaliado como simulações 4D poderiam dar suporte ao controle de execução e montagem dos sistemas construtivos de formas.

A utilização das bibliotecas de componentes de formas é fator determinante na implementação de um modelo 3D para a simulação 4D da execução de um sistema de formas. Isso se deve, primeiramente pela forma de seleção e manipulação dos componentes que cada sistema de formas possui.

Para o desenvolvimento desta implementação, foi utilizada a ferramenta NAVISWORKS da Autodesk. Foi utilizado o recurso de exportação do modelo do REVIT para o NAVISWORKS MANAGER que por sua vez, possui o recurso de leitura e gerenciamento das informações do modelo de informação da construção. Esses recursos incluem o controle dos elementos através de árvores de seleção do modelo (*selection tree*) denominadas Estruturas Analíticas do Modelo (EAM).

**Figura 34 - Estrutura Analítica do modelo do NAVISWORKS**



**Fonte: do autor**

Existem quatro variações da EAM::

- *Standard* ou Tradicional que apresenta a estrutura do modelo em três níveis principais. No 1º nível está o próprio Modelo, em seguida em um 2º nível são apresentados os diferentes pavimentos do modelo e finalmente do 3º nível para baixo são apresentados os componentes e os seus múltiplos subcomponentes.
- *Compact* ou Compacta que apresenta uma estrutura compacta da EAM tradicional, contendo apenas os níveis do modelo e dos pavimentos de cada modelo.
- *Properties* ou Propriedades que apresenta as várias propriedade paramétricas do modelo de informação da construção. Cada propriedade é separada por diferentes classes que contém as informações relativas aos parâmetros geométricos e não-geométricos do

modelo. Sendo assim, é possível através de parâmetros compartilhados, assim como feito na etapa de Quantificação, criar uma “raiz” paramétrica para identificação das famílias de formas instanciadas no modelo.

- *Sets* ou Seleções que representam um conjunto de elementos determinados pelo usuário de uma ou mais partes do modelo.

## 6.2 Implementações graduais (tentativa e erro)

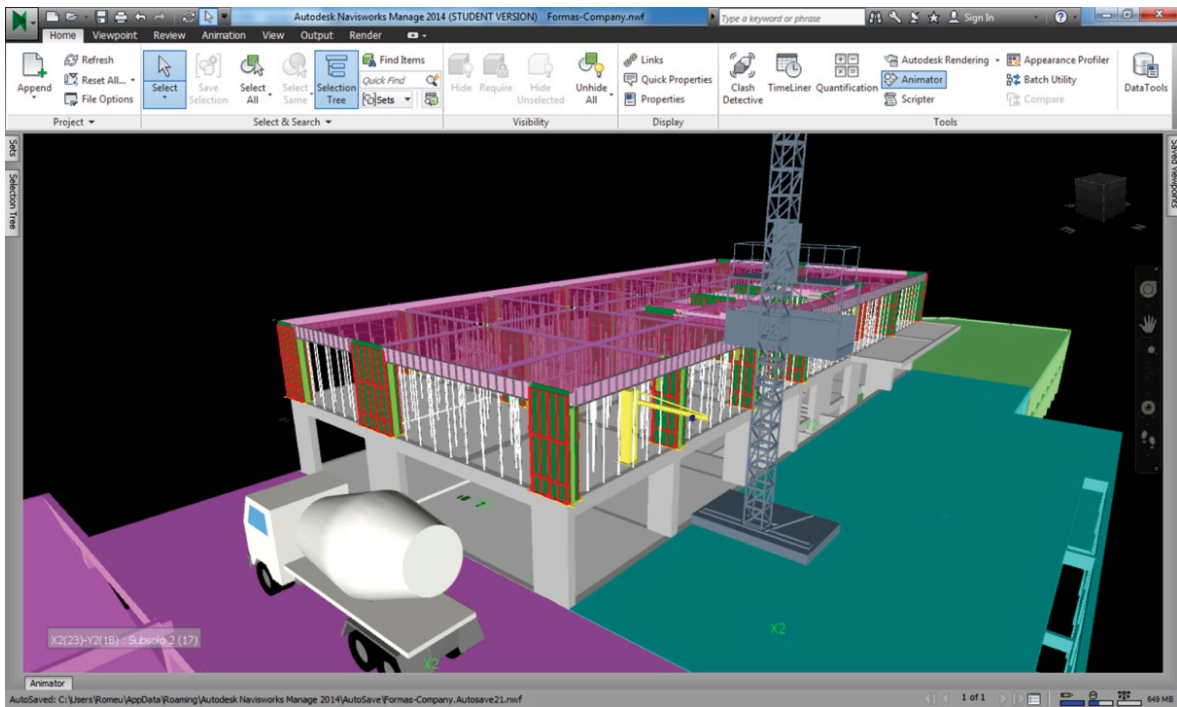
Finalizada esta etapa foram implementadas diferentes maneiras de visualização do ciclo de concretagem de uma estrutura. Isso foi possível primeiramente através de um exercício aplicado a uma turma do curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP (apresentado na seção 7.2).

A partir da observação sobre o exercício da simulação de um ciclo de concretagem, foi possível determinar alguns requisitos necessários para a boa prática na utilização da simulação 4D no processo do PCFM. Utilizando-se da EAM de Propriedades, foi necessário novamente rever a etapa de modelagem das famílias de formas e criar novos atributos que possibilitassem a seleção dos componentes do modelo. Primeiramente, foi identificado que mesmo estando algumas famílias instanciadas com base no plano de trabalho (i.e os pavimentos), era necessário que as famílias fossem elaboradas em *templates* que possuíssem parâmetros de embasamento no pavimento. Outra ação retomada na modelagem foi a criação de um parâmetro contendo um ID de cada família aninhada. Esse parâmetro possibilitou a individualização de cada família que possuía componentes básicos aninhados dentro de si, que anteriormente à criação deste parâmetro não eram acessíveis pelas diferentes opções de EAM.

Finalmente, foram criados *sets* ou seleções para cada parte do modelo a ser simulado a data de execução e no caso dos componentes do sistema de formas, simular a sua montagem.

Assim que foi retomado o exercício de simulação 4D para a elaboração de um planejamento da execução de um caso apresentado na seção 4.2.7. (Figura 31 e 32).

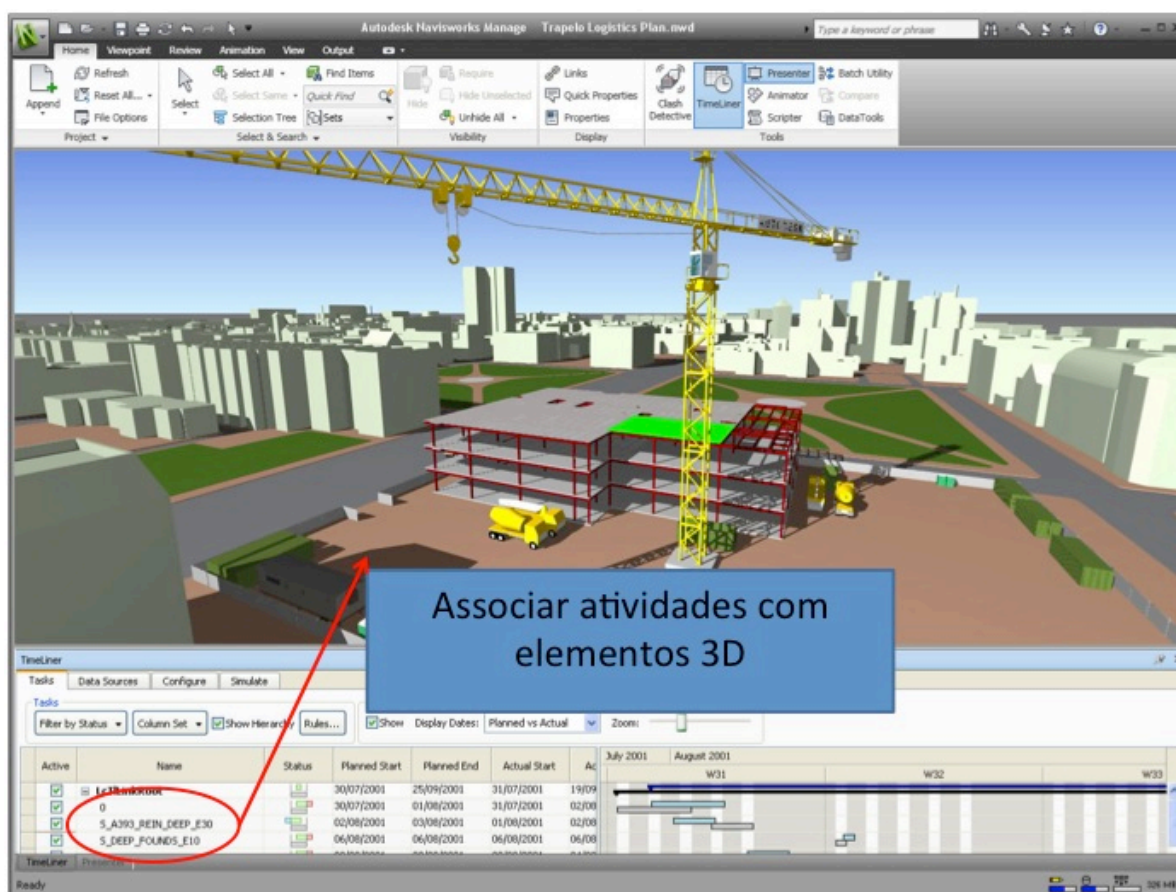
**Figura 35 - Simulação 4D do sistema de formas**



**Fonte: do autor**

A partir dos *sets* criados, foi feito uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), que foi em seguida exportada para um software de planejamento, tal como o MS Project. Nessa etapa, são criadas as vinculações entre cada tarefa do projeto e dados os valores de duração de cada tarefa. Ao recarregar esse planejamento no NAVISWORKS para o gerenciamento dessa informação, foi possível vincular o planejamento de cada etapa do sistema construtivo de formas a geometria do modelo de informação das formas (Figura 36).

**Figura 36 - EAP para o planejamento do Modelo**



Fonte: do autor

### 6.3 Validação

Nessa avaliação, o projeto de formas do caso apresentado na seção 4.2.7, apresentou algumas dificuldades no aproveitamento da modelagem 4D e visualização do processo construtivo. Primeiramente, foi necessária a hierarquização das etapas sequenciais da estrutura. Conforme ilustrado na Figura 37, a estrutura periférica da torre será executada separadamente da estrutura da torre em si. Isso possibilitou a separação de equipes focadas na produção seriada de etapas contínuas. Em seguida foi feita uma seleção dos elementos da forma, identificando-os em diferentes cores para a melhor visualização de cada sub-etapa na montagem do sistema de formas. Por fim, fazendo uso de um cronograma semanal do ciclo de concretagem (Tabela 9), foi possível realizar a simulação da concretagem, juntamente com a animação de alguns elementos da estrutura do modelo da forma. Esses

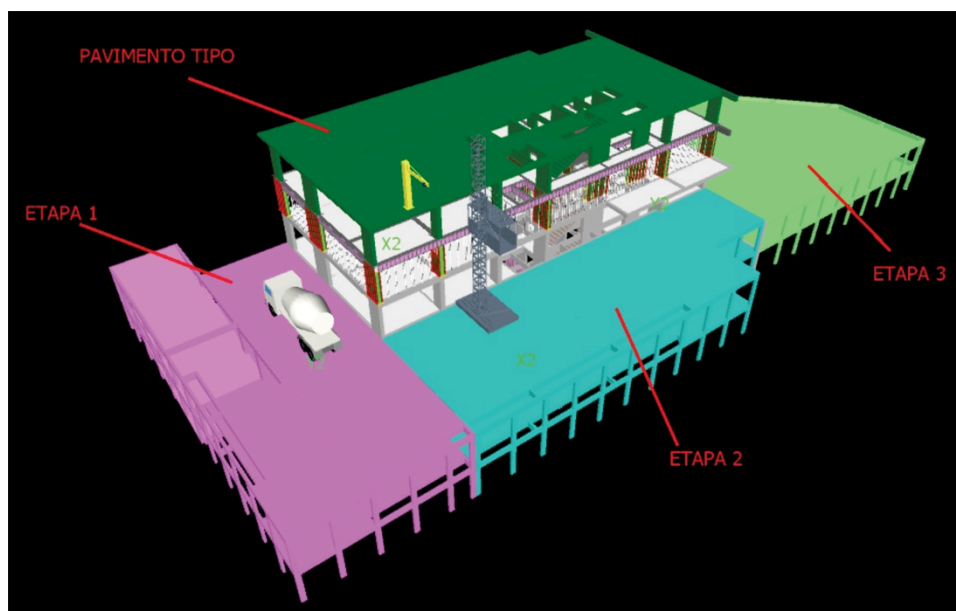
vídeos animados foram apresentados a equipe de carpintaria da obra e ajudaram na fixação das metas de produção a serem atingidas.

**Tabela 9 - Cronograma do ciclo de concretagem**

Tarefa	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q
Montagem de galstalhos										
Colocação dos paineis laterais dos pilares em forma de 'U'										
Colocação da armação dos pilares										
Fechamento dos paineis dos pilares										
Estruturação das formas de pilar										
Colocação de fundos de viga e paineis laterais de viga										
Montagem do forro de laje										
Montagem da armação da laje										
Concretagem										

Fonte: do autor

**Figura 37 - Hierarquização**

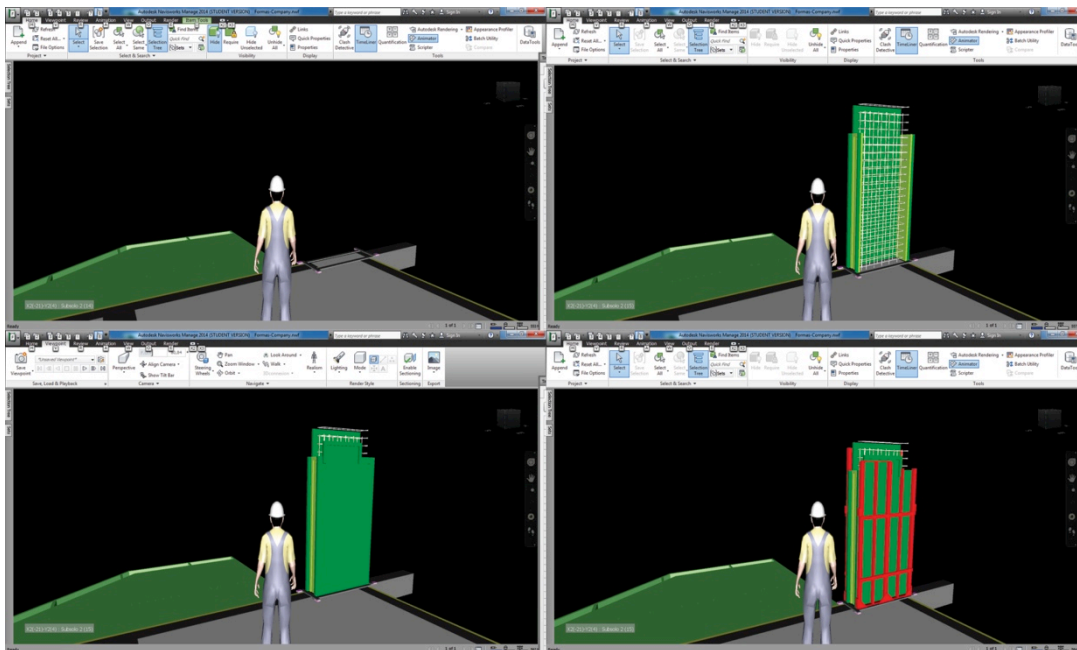


Fonte: do autor

Todos os elementos apresentados no desenvolvimento da simulação 4D serviram de material exploratório de como a simulação 4D pode auxiliar os sistemas construtivos em um processo de produção.

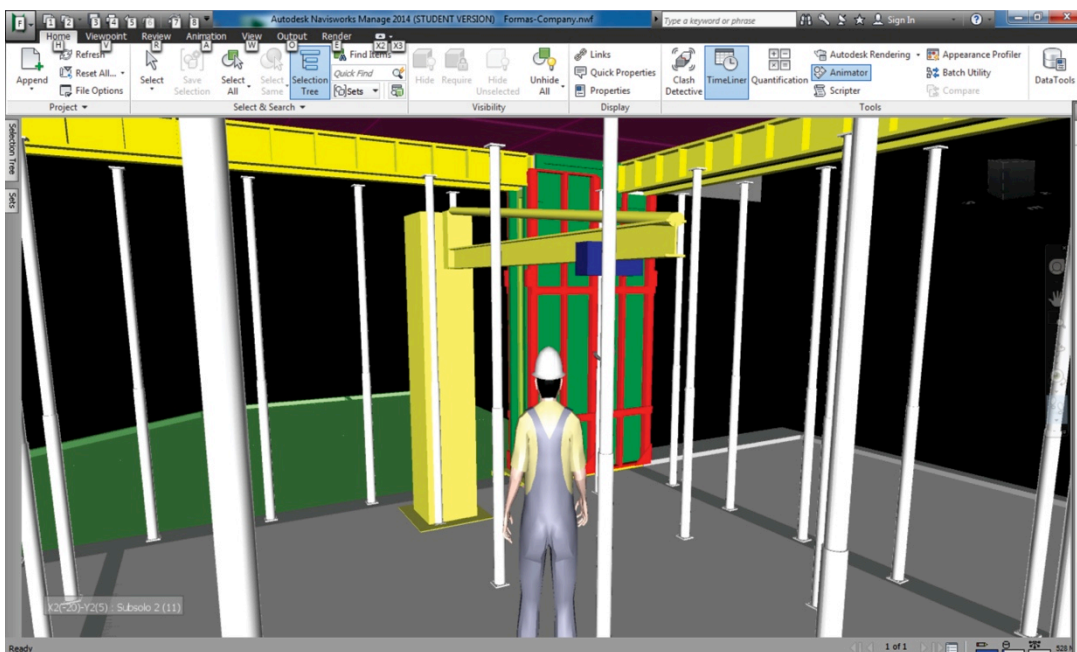


**Figura 38 – Simulação da montagem das formas de pilar**



Fonte: do autor

**Figura 39 – Animação das etapas construtivas**



Fonte: do autor



## **7 Ponderações e análise das contribuições teóricas**

---

Três exercícios foram desenvolvidos visando gerar subsídios para ponderar sobre a aplicabilidade da solução proposta: (i) tentativa de implantação em um escritório de projetos do mercado. (ii) teste da inserção das formas no modelo estrutural e simulação 4D para o projeto de formas em ambiente didático e (iii) desenvolvimento de um projeto de formas para um empreendimento comercial, contendo dois edifícios de múltiplos pavimentos. Estes exercícios serão apresentados e discutidos a seguir.

### **7.1 Tentativa de implantação em um escritório de projetos**

Ao se apresentar os resultados parciais da pesquisa no exame qualificação, foi sugerida pela banca avaliadora, um contato de um escritório especializado em Projetos Construtivos de Formas de Madeira localizado na capital do Estado de São Paulo. Ao início do contato com esse escritório, foi feita a apresentação dos conceitos de BIM e Famílias do REVIT. Isso despertou nos integrantes daquele escritório, um grande interesse no desenvolvimento da biblioteca de componentes sendo criada para o trabalho. Em contrapartida, o escritório de projetos, cedeu um projeto detalhado de um edifício de múltiplos pavimentos. Nesse escritório, os detalhamentos eram todos desenvolvimentos com tecnologias de automação em CAD, o que em relação a produtividade era satisfatório. Porém, o desempenho do escritório em demonstrações tridimensionais dos componentes das formas ainda era precário, considerando o grande esforço gerado pela construção de todos os componentes das formas em ferramentas CAD 3D.

A colaboração do escritório na pesquisa foi essencial para reforçar o entendimento dos sistemas de formas adotados no país. Essa colaboração resultou em uma biblioteca de componentes mais rica e viável aos paradigmas de BIM que se almejou alcançar na pesquisa. Também foi importante observar a receptividade da proposta pelo escritório. Entretanto, por restrições estratégicas comerciais do escritório a colaboração em desenvolvimento conjunto não se viabilizou.

## **7.2 Simulação 4D para o projeto de formas em ambiente didático**

Alunos do 4º. Ano do curso de graduação de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP desenvolveram um exercício de simulação 4D na disciplina obrigatória CV902 INTEGRAÇÃO EM CAD no segundo semestre de 2013. O exercício requeria a instanciação das formas em dois pavimento tipo de uma estrutura de concreto armado, a elaboração de um cronograma de concretagem do pavimento tipo, incluindo forma, concretagem e desforma, e a criação da simulação 4D do processo.

Visando identificar qual o nível de dificuldade de entendimento da trabalhabilidade dos componentes no ambiente do REVIT e do NAVISWORKS. Ao final do exercício aplicou-se um questionário levantando as seguintes questões:

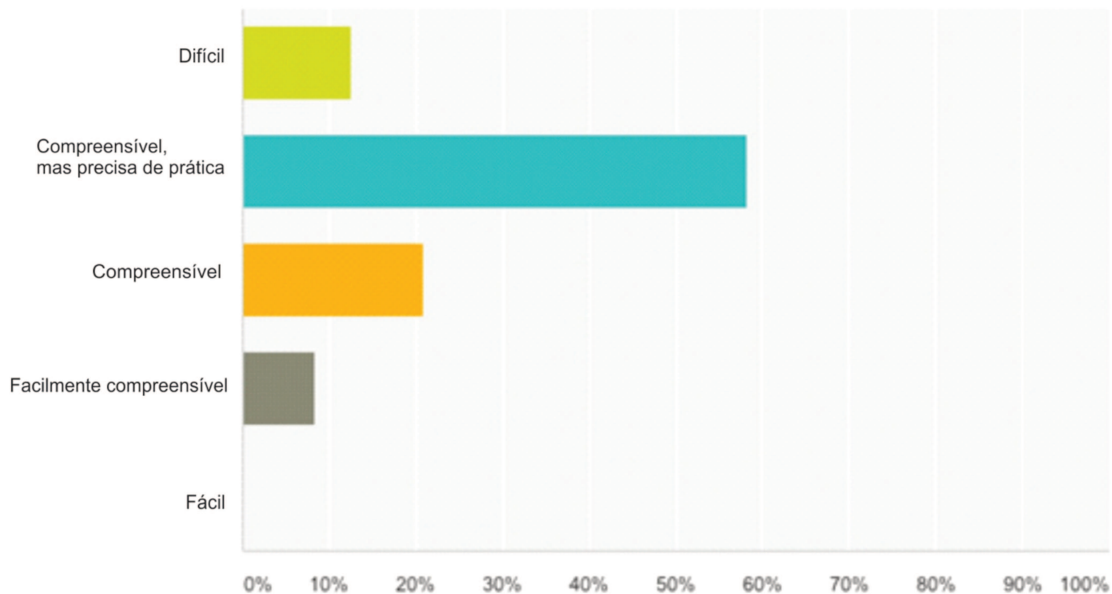
1. Qual o nível de dificuldade sentido para a compreensão do modelo estrutural de concreto armado no REVIT da estrutura recebida?
  - a. Difícil.
  - b. Compreensível mas precisa de prática.
  - c. Compreensível.
  - d. Facilmente compreensível.
  - e. Fácil.
2. Você acha adequada a forma padrão de representação de planos estruturais propostos pelo REVIT? Isto é com plantas dos pisos e plantas de forro?
  - a. Sim.
  - b. Não
  - c. Não sei opinar.
3. Qual foi a sua avaliação quanto à utilidade das famílias para o projeto de formas?
  - a. Muito úteis (essenciais para a obra).
  - b. Úteis (ajudam na visualização da produção).
  - c. Inúteis (perda de tempo).
  - d. Não sei opinar.
4. Qual o nível de dificuldade previsto para a modelagem da forma de pilar?

- a. Muito difícil.
  - b. Difícil, porém compreensível com a prática.
  - c. Regular.
  - d. Fácil
  - e. Muito fácil.
5. Qual o nível de dificuldade previsto para a modelagem de forma de viga?
- a. Muito difícil.
  - b. Difícil, porém compreensível com a prática.
  - c. Regular.
  - d. Fácil
  - e. Muito fácil.
6. Qual o nível de dificuldade previsto para a modelagem da forma de laje?
- a. Muito difícil.
  - b. Difícil, porém compreensível com a prática.
  - c. Regular.
  - d. Fácil
  - e. Muito fácil.

Dos 33 alunos matriculados na disciplina e que desenvolveram o exercício 24 responderam ao questionário (72%).

A Figura 40 denota que os alunos participantes do exercício consideraram em grande maioria o modelo de estrutura compreensível a partir do uso da ferramenta REVIT STRUTUCTION. Entretanto mais de 50% afirmou ser necessária a prática com a ferramenta para melhorar esta compreensão.

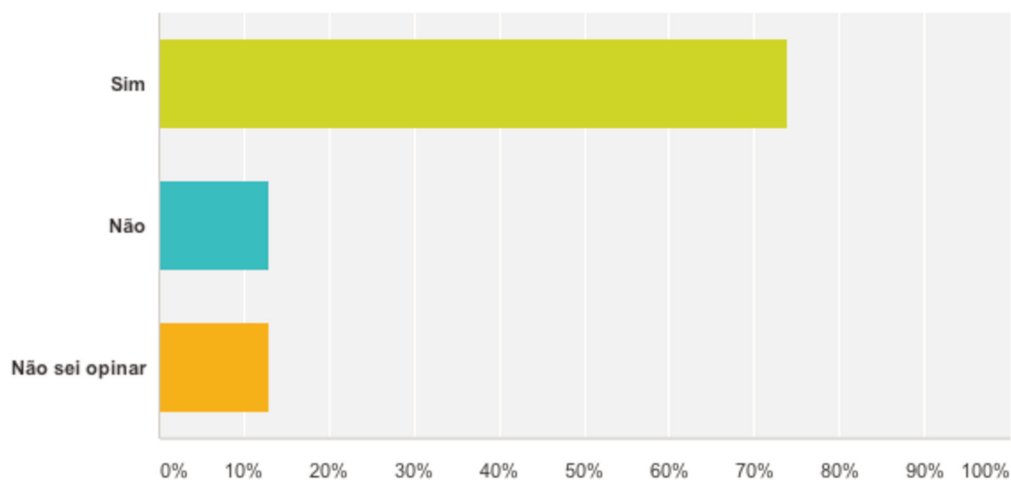
**Figura 40 – Compreensão do modelo estrutural na ferramenta REVIT STRUCTURE**



**Fonte: do autor**

A Figura 41 denota que os alunos consideraram a forma de apresentação dos planos estruturais pela ferramenta REVIT STRUCTURE adequadas, com apenas uma pequena parcela não concordando e outra não tendo opinião formada.

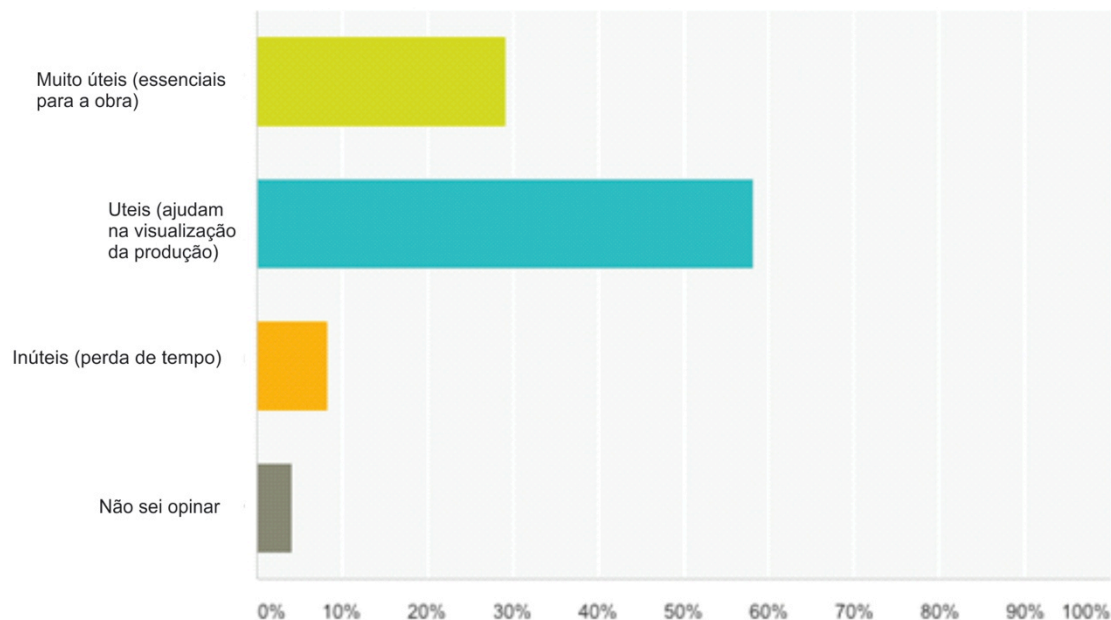
**Figura 41 – Adequação da forma de representação dos planos estruturais do REVIT STRUCTURE**



**Fonte: do autor**

A Figura 42 demonstra grande potencial de aceitação da biblioteca de componente de forma entre os alunos, que a consideraram muito úteis ou úteis, principalmente para o apoio a visualização em projeto.

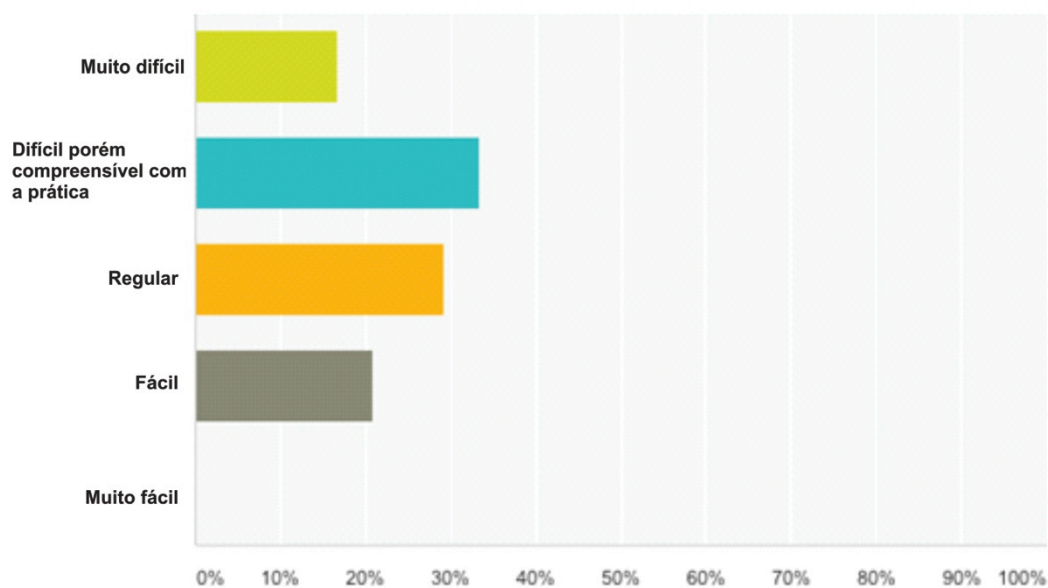
**Figura 42 – Opinião sobre a utilidade da biblioteca de forma de concreto armado**



**Fonte: do autor**

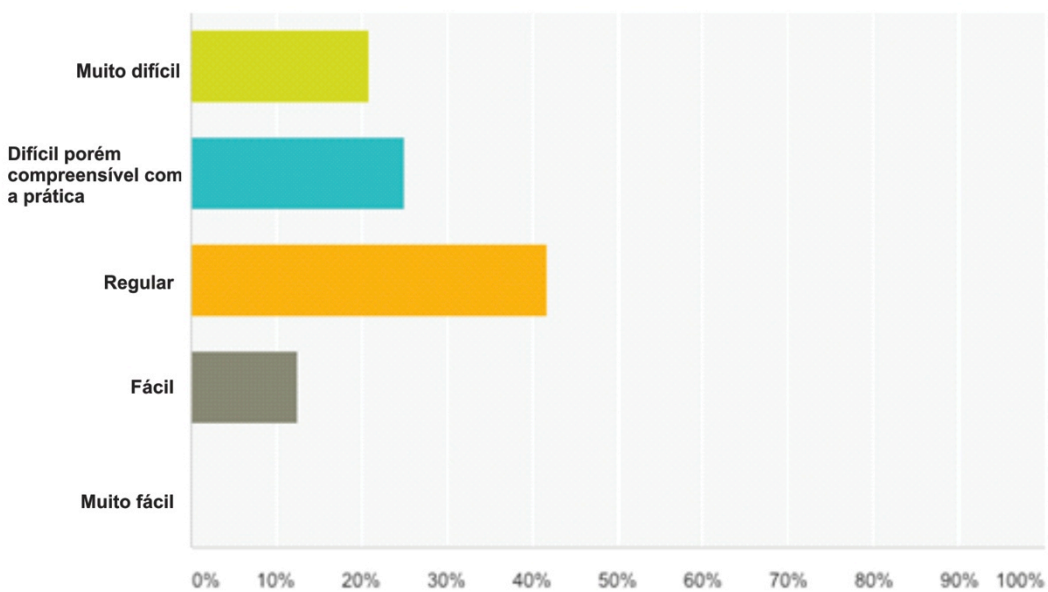
A Figura 43, 44 e 45 aponta que houve certa dificuldade na inclusão das formas envolvendo a estrutura de concreto, sendo o elemento estrutural pilar o mais difícil de envolver com a forma correspondente.

**Figura 43 – Nível de dificuldade declarado para a modelagem de formas de pilar**



**Fonte: do autor**

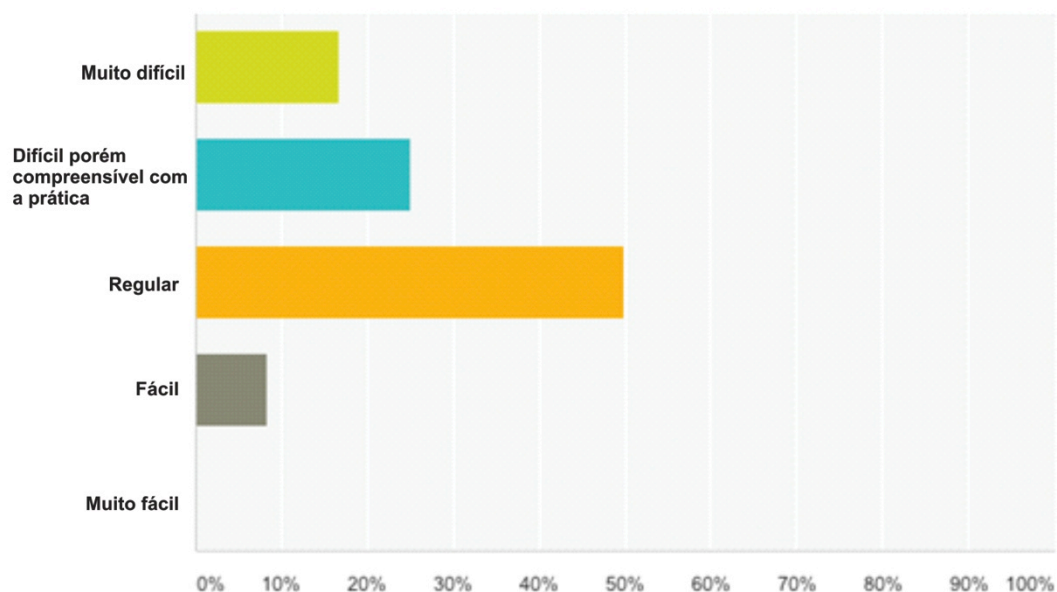
**Figura 44 - Nível de dificuldade declarado para a modelagem de formas de viga**



**Fonte: do autor**



**Figura 45 - Nível de dificuldade declarado para a modelagem de formas de laje**

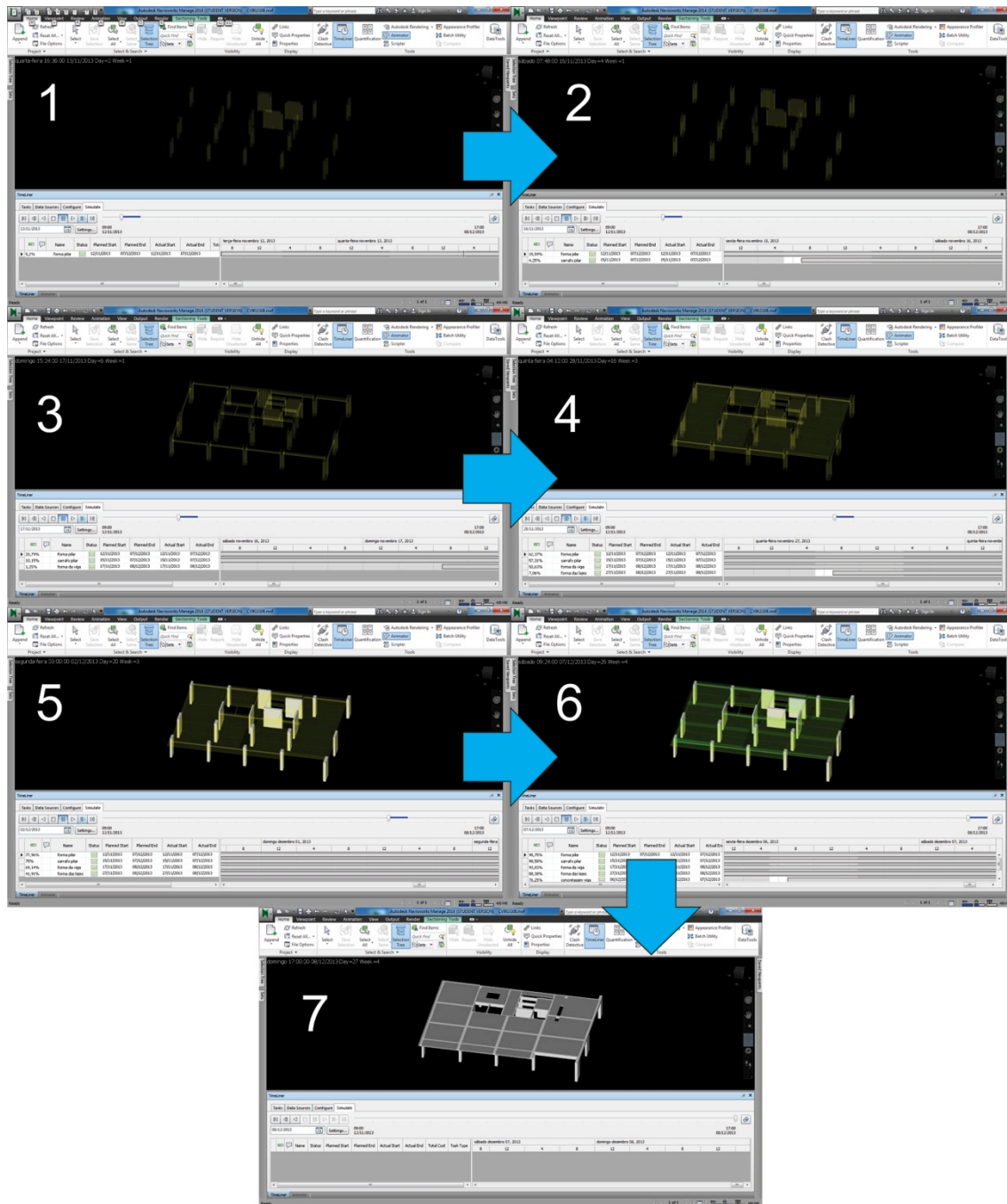


**Fonte: do autor**

Ao analisarmos as simulações apresentadas na disciplina, vemos que a grande maioria dos alunos conseguiu interpretar a geometria das formas no REVIT e transmitir na forma de mídias visuais o ciclo de concretagem de um pavimento da estrutura. Porém, verifica-se que faltam informações a serem apresentadas para que a informação da construção seja útil para o planejamento e acompanhamento de uma obra real.

Portanto, ao final desse exercício foi possível retomar etapas do desenvolvimento da biblioteca e reformula-las para que pudessem alcançar os objetivos de uma simulação 4D.

**Figura 46 – Sequência da concretagem em 4D**



**Fonte: do autor**

### **7.3 Desenvolvimento de um projeto de formas para um empreendimento comercial**

Após finalizada todas as etapas experimentais da pesquisa, o pesquisador obteve segurança para o desenvolvimento de um projeto de formas de um empreendimento comercial localizado em Aparecida de Goiânia, no Estado de Goiás. Esse projeto demandou aproximadamente 20 dias trabalhados com o auxílio de um estagiário estudante de Engenharia Civil do 5 ° ano de graduação. Toda a documentação foi enviada para a obra e possibilitou a confecção do sistema de formas de forma planejada e sistematizada, que é o intuito dos Projetos Construtivos.

**Figura 47 – Formas de pilar executadas**



**Fonte: do autor**

**Figura 48 – Formas de laje executadas**



**Fonte: do autor**

#### **7.4 Considerações gerais**

Inicialmente, ao considerarmos o problema e seu potencial de contribuição, tratamos da falta de recursos que acelerassem o desenvolvimento das disciplinas de Projeto Construtivo. Essas disciplinas de projeto, abordam um nível de detalhe muito elevado de construção e consequentemente sofrem de variadas dificuldades de inovação e contribuições em um contexto CAD de projeção. Sendo assim, o trabalho realizado, ao implementar uma biblioteca de componentes das formas, denominada de famílias na ferramenta utilizada, caracteriza-se como uma contribuição ao setor de ensino, pesquisa e também de mercado. Esse último foi comprovado, devido ao interesse demonstrado por um escritório de formas para concreto armado atuante no mercado da construção civil da cidade de São Paulo. O que cumpre o passo de examinar o potencial de contribuição da pesquisa junto aos setores alvo. A contribuição teórica relacionada a etapa de modelagem do PCFM, é a melhoria na visualização e entendimento das etapas construtivas da estrutura de concreto armado. Quando esses aspectos são tratados em um contexto CAD de projeção, evidencia-se várias barreiras de entendimento e comunicação. Essas barreiras dificultam a utilização da

documentação técnica em um canteiro de obra, onde já existem diversas barreiras culturais e metodológicas a serem vencidas.

A quantificação se mostrou eficaz devido à sua automação e dinâmica com a análise de custos do sistemas de formas de um projeto de formas em fase de desenvolvimento. Sendo assim, a especialização dedicada pelos projetistas pode ser ampliada e assim auxiliar a tomada de decisão dos sistemas de formas a ser empregado em uma obra. Quanto à sua contribuição teórica, temos que o processo de quantificação é facilmente automatizado, sem grandes recursos computacionais para se alcançar esse objetivo, como ocorria em um processo CAD de projeto.

Finalmente a simulação 4D deve considerar quais são aqueles requisitos de produtividade que uma equipe de obras teria ao iniciar seu processo construtivo dentro do canteiro de obras. Sendo assim, com o uso do modelo de informação das formas, é possível antever várias restrições de obra que anteriormente não eram visualizadas até que se iniciasse a etapa de montagem e desmontagem dos sistemas de formas no canteiro.



## 8 Contribuições

---

Existem várias formas de se abordar os conceitos da Modelagem da Informação da Construção para os fins apresentados nessa pesquisa. Sendo assim, serão apresentadas algumas referências de trabalhos já realizados que tiveram correlação aos conceitos aqui apresentados. Porém, o direcionamento dado por essas referências é diferente, e que poderiam ser alternativas que não foram desenvolvidas, mas que servem de ponto inicial para trabalhos futuros. Juntamente com essa abordagem, apresentaremos quais as contribuições deste trabalho, levando em consideração todas essas diferentes alternativas.

O primeiro trabalho que poderia ser citado seria a parametrização de componentes em formato IFC (BUILDINGSMART, 2014). Essa promessa da buildingSmart<sup>11</sup> poderia possibilitar novos patamares de desenvolvimento dos componentes tratados no trabalho, além de englobar um número maior de ferramentas para o uso em Projetos Construtivos em geral, pois o IFC é uma especificação de arquivo em formato aberto supra plataforma de vendedores de software.

Outras pesquisas já desenvolvidas nesse campo estão relacionadas ao uso de ferramentas BIM específicas e a parametrização de componentes de formas. Kannan e Santhi (2013) abordam o uso de famílias paramétricas para o PCFM também utilizando o REVIT, porém com menos profundidade e sem apresentar os métodos utilizados para o desenvolvimento dos componentes.

Outro trabalho no mesmo campo que merece ser destacado é o de Willimas et al., (2011) que aborda os termos de construtibilidade dos elementos da forma através da parametrização e a fabricação digital dos componentes para formas complexas. Todo o estudo aborda o processo de projeto que envolve o desenvolvimento de sistemas de formas adequados ao processo criativo do arquiteto em formas complexas de concreto. No entanto,

---

<sup>11</sup>buildingSmart <http://www.buildingsmart-tech.org/future-extensions/ifc-future-extensions/project-proposals/pa-1-parametric>

o processo descrito envolve ferramentas CAD de projeto e suas extensões não envolvem BIM como auxílio ao processo.

Por último, existe a referência de uma construtora que já aplicou aos seus processos construtivos internos, a modelagem dos componentes das formas, utilizando a ferramenta BIM TEKLA STRUCTURE da Trimble Corp. apresentada na Tabela 5 do Capítulo 2 (TEKLA, 2013). Esse último trabalho também demonstra um uso prático de uma ferramenta BIM específica para o desenvolvimento de detalhamentos ao canteiro de obra.

A presente pesquisa se difere dos trabalhos apresentados em alguns aspectos. O principal aspecto diz respeito à metodologia adotada para todos os trabalhos. Nenhum deles propôs uma metodologia científica, propondo contribuições teóricas para o campo de atuação do pesquisador como foi feito com a presente pesquisa fazendo uso da metodologia da pesquisa construtiva. Dessa forma, propõe-se uma biblioteca de componentes possível de ser controlada e gerenciada, abordando os seus aspectos de parametrização e modelagem, a quantificação e a simulação 4D no âmbito do PCFM em um contexto BIM de projeção.

O método da pesquisa, conforme apresentado por Lukka (2003) no Capítulo 3, foi utilizado porque busca construir artefatos que solucionem problemas do mundo real e dessa forma contribuam para a teoria da área aplicada. A primeira contribuição da pesquisa construtiva para o campo teórico, é o artefato inovador por si só.

Nessa pesquisa, o artefato é o desenvolvimento da Biblioteca de componentes para o Projeto Construtivo. Esse artefato, por si só contribui para a literatura técnica, colaborando com futuras pesquisas que podem utilizar este artefato para a solução e proposição de suas próprias teorias dentro de um campo semelhante.

Em um campo mais aprofundado de contribuições, podemos destacar que ao testar se a solução funciona, testamos também as relações positivas que o artefato possui com relação as antigas teorias e práticas do assunto. Nesse âmbito, temos que o desenvolvimento do PCFM em BIM, com subetapas automáticas e possibilitando uma melhor projeção de um sistema construtivo, também passível de ser replicado para outros sistemas de formas, é um refinamento de uma problemática que anteriormente estava em um contexto CAD de



projeção. Já o teste em si, demonstrou a capacidade de alcance da proposta. A automação da documentação e da quantificação, se alinham com o que há de mais inovador no mercado da construção civil brasileiro. Outro aspecto, diz respeito a como a proposta pode ilustrar a problemática. Nesse sentido, a simulação 4D potencializa a visualização do sistema construtivo de formas, possibilitando alternativas projetuais, além de melhorar a comunicação do projeto, o que despertou o interesse do mercado da construção civil brasileiro, conforme descrito no Cap. 7 de Ponderações. Esse potencial da pesquisa, retrata o quão carente é a construção civil na otimização dessa transmissão de informação aos seus agentes.



## 9 Conclusão

---

A qualidade das disciplinas de projeto existentes no campo de AEC, estão muito relacionadas à sua visualização e o potencial que estas informações transmitem para um grupo de pessoas tomarem decisões acerca do ciclo de vida de um edifício. Quando se trata de um Projeto Construtivo como o Projeto de Formas de Madeira para estruturas de concreto armado, essa necessidade de transmissão da informação é potencializada, devido ao grande número de detalhes e componentes que compõem um sistema de formas. Sendo assim, os paradigmas que são quebrados através da modelagem da informação da construção, contribuem diretamente para o avanço desse tipo de disciplina de projeto e consequentemente para a construtibilidade do sistema construtivo em si.

Ao longo desse trabalho foram apresentadas as razões de se entender e aplicar o PCFM e as suas vantagens para a qualidade da construção. Além disso, foi também apresentada de maneira mais exploratória como essa mesma disciplina pode se inserir em um contexto de modelagem da informação da construção. Para isso, foram feitos através de um método científico, estudos e aplicações de todos os componentes presentes em um sistema de formas de madeira, construindo ao final o modelo virtual deste sistema construtivo. Para isso, foi necessário explicar como pode ser feita a Modelagem, a Quantificação e a Simulação 4D de um sistema de formas comumente utilizado nos canteiros de obra brasileiros.

Apresentam-se dois resultados finais considerados como contribuição prática e teórica. O resultado principal é uma biblioteca de componentes para o PCFM na plataforma REVIT da Autodesk. Este desenvolvimento viabiliza incorporar recursos da plataforma BIM utilizada aprimorando e precisando o PCFM, por meio da automação da documentação do projeto e da quantificação de componentes. A biblioteca de componentes foi desenvolvida de maneira a também a suportar estudos de simulação temporal, permitindo desta forma incluir o PCFM de forma concreta no planejamento da obra.

O método de pesquisa construtiva e o caráter cíclico adotado no desenvolvimento da biblioteca de componentes abordando os usos de BIM na modelagem, quantificação e simulação 4D segundo Manning e Messner (2008) permitiu a criação de uma solução robusta de BIM para o PCFM que pode ser replicados para os variados sistemas de formas existentes no mercado.

## Referências

---

- ALEXANDER, A. Design and Construction of Concrete Formwork. In: **The Civil Engineering Handbook, Second Edition**. [S.l.] CRC Press, 2002. Cap 4.
- AMOR, R.; JAIN, S.; AUGENBROE, G. **Online Product Libraries : The State-of-the-art**. CIB Triennial. **Anais...**Toronto, Canada: 2008.
- 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, p. p.76–111, jan. 2010.
- THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Document E202™**. Washington, 2008.
- ASSAHI, P. N. Sistema de Fôrma para estrutura de concreto. [s.d.]. Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAetgwAI/texto-paulo-assahi#>>. Acesso em: 20 dez. 2013.
- ASSAHI, P. N. **Forma de Madeira. Manual de montagem**. São Paulo, [s.d.].
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fôrmas de madeira para concreto armado em edifícios comuns. Boletim Técnico nº 50**. São Paulo, 1943.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de madeira NBR 7190**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto NBR 15696**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de classificação da informação da construção NBR 15965**. Rio de Janeiro, 2011.
- AUTODESK. **Tutoriais Métricos**. Autodesk, , 2010. Disponível em: <[http://revit.downloads.autodesk.com/download/RAC2009/Families\\_Guide/PTB/Family\\_Guide/PDF/ArchitectureFamiliesMetA4PTB.pdf](http://revit.downloads.autodesk.com/download/RAC2009/Families_Guide/PTB/Family_Guide/PDF/ArchitectureFamiliesMetA4PTB.pdf)>.
- AUTODESK. **Autodesk Seek**. Disponível em: <<http://seek.autodesk.com/>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

**Autodesk Exchange Apps - Extend the power of Autodesk software using safe, easy, powerful apps.** Disponível em: <<http://apps.exchange.autodesk.com/>>. Acesso em: 24 abr. 2013.

BAER, A.; EASTMAN, C.; HENRION, M. Geometric modelling: a survey. **Computer-Aided Design**, Pittsburgh, PA: Carnegie-Mellon University. v. 11, n. 5, p. 253-272, set. 1979.

BARROS, M. M. S. B. DE; MELHADO, S. B. Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios. In: **Tecnologia da Construção de Edifícios I**. 2. ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

BARROS, M. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo: Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

BASSETTE, F. L. F.; MORAIS, M.; RUSCHEL, R. C. **Quantificação por meio de modelagem de informação da construção: uma avaliação do aplicativo quantity takeoff** ENTAC: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Juiz de Fora: 2012

BEDRICK, J. Organizing the Development of a Building Information Model. p. 1–5, 2008. Disponível em: <http://www.aecbytes.com/feature/2008/MPSforBIM.html>. Acesso em: 10 maio. 2013.

BERNSTEIN, P.; DEAMER, P.; DAVIS, M. **Building (in) the Future: Recasting Labor in Architecture**. [S.l.] Routledge, 2010. v 16, p. 216.

BOEHMIG, R. L. Shop drawings: In need of respect. **Civil Engineering—ASCE**, [S.l.] v. 60, n. 3, p. 80–82, 1990. Disponível em: <<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?65305>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

BOIN, A. C. Fôrmas e Escoramentos. In: **Apostila do Curso sobre fôrmas e escoramentos na engenharia do concreto**. São Paulo: ABCP, 1993. p. 69.

BUILDINGSMART. **IFC4**. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/ifc/ifc4>>. Acesso em: 16 abr. 2013.

BUILDINGSMART. **Parametrics for IFC**, 2014. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/future-extensions/ifc-future-extensions/project-proposals/pa-1-parametric>>

CALIL JÚNIOR, C. **SET 613 - Fôrmas de madeira para concreto armado**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; BRAZOLIN, S. **Madeiras na construção civil**. IBRACON. (Org.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. **Anais...**São Paulo: 2007

CHAU, K. W.; ANSON, M.; ZHANG, J. P. Implementation of visualization as planning and scheduling tool in construction. **Building and Environment**, v. 38, n. 5, p. 713–719, maio 2003.

CIC RESEARCH GROUP. **BIM Project Execution Planning Guide and Templates**The Pennsylvania State University, 2010. Disponível em:  
<<http://bim.psu.edu/Project/resources/default.aspx>>

CORRÊA, F. R.; SANTOS, E. T. **Ontologias na construção civil: soluções para o problema de interoperabilidade com o uso do IFC**. VI Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. **Anais...**São Paulo, Campinas: UNICAMP 2013.

CORSER, R. **Fabricating Architecture: Selected Readings in Digital Design and Manufacturing**. [S.l.] Princeton Architectural Pr, 2010.

CRISTIANI, J. E. R. **Fôrmas de madeira para concreto em edifícios de andares múltiplos**. São Paulo: Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

DUDDY, K. et al. **A platform-independent product library for BIM**. 30th CIB W78 International conference. **Anais...**Beijing: 2013

EASTMAN, C.; LISTON, K. ; SACKS, R.; TEICHOLZ, P. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. [S.l.] Wiley, 2011. v. 2 p. 1-650.

FAJERSZTAJN, H. **Formas para concreto armado: aplicacao para o caso do edificio**. São Paulo: Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1987.

FORMAS para Concreto Armado. p. 2–61, [s.d.]. Disponível em:  
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA4FR4AJ/formas-concreto-armado#comments>.

GAO, J.; FISCHER, M. **Experiences with 3D and 4D CAD on Building Construction Projects : Benefits for Project Success and Controllable Implementation Factors**. CIB W78 22nd International Conference on Information Technology in Construction. **Anais...**The Westin Bellevue, Dresden, Germany: 2005

GELISEN, G. Automated Productivity-Based Schedule Animation : Simulation-Based Approach to Time-Cost Trade-Off Analysis. **Jornal of Construction Engineering and**

**Management - ASCE**, v. 140, n. 4, p. 1–10, 2014. Disponível em:  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000674>.

HORNER, R. M. W.; THOMSON, D. C. Relative costs of site-made and proprietary formwork. **Building and Environment**. Dundee, Scotland: Dundee University. v. 16, n. 4, p. 243-250, 1981.

JENSEN, P.; OLOFSSON, T.; JOHNSON, H. Configuration through the parameterization of building components. **Automation in Construction**, v. 23, p. 1-8, maio. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511002238>>. Acesso em: 3 dez. 2012.

JOLLY, K. **Essentials of Revit Families 2012**. [S.l.] CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011.

JONGELING, R.; KIM, J.; FISCHER, M.; MOURGUES, C.; OLOFSSON, T. Quantitative analysis of workflow, temporary structure usage, and productivity using 4D models. **Automation in Construction**, v. 17, n. 6, p. 780–791, ago. 2008.

KANNAN, R.; SANTHI, H. **Automated construction layout and simulation of concrete formwork systems using Building Information Modeling**. The 4th International Conference of EACEF (European Asian Civil Engineering Forum). **Anais...**Singapore: National University of Singapore, 2013

KIM, J. **Temporary structure planning ontology**. Tese de Doutorado - Stanford University, 2006.

LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, v. 15, n. 6, p. 758-776, nov. 2006

LUKKA, K. The constructive research approach. **Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B**, v. 1, p. 83–101, 2003.

MANNING, R.; MESSNER, J. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. **ITcon**, v. 13, n. Special, p. 246-257, 2008. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2008/18>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

MARANHÃO, G. M. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97**. São Carlos: Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.



MELHADO, S. B.; FABRÍCIO, M. M. **Projetos da produção e projetos para produção na construção de edifícios: discussão e síntese de conceitos** VII Encontro Nacional do Ambiente Construído. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998.

MORIKAWA, M.; DEMARZO, M. **Materiais alternativos utilizados em formas para concreto armado**. Campinas: Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, 24 fev. 2003.

NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios**. São Paulo: PINI, 2007.

NBL. **NBS National BIM Library – free-to-use BIM objects**. Disponível em: <<http://www.nationalbimlibrary.com/>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

PANIZZA, A. DE C.; RUSCHEL, R. C. **Colaboração em CAD no projeto de arquitetura, engenharia e construção**. Campinas: Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, 2004.

PAZLAR, T.; TURK, Z. Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard. **ITcon**, v. 13, n. Special. Jul. 2007, p. 362–380, 2008.

PICCHI, F. A.; AGOPYAN, V. **Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

PIETROFORTE, R. Shop drawing process of stone veneered cladding systems. **Journal of architectural engineering**, v. 3, n. 2, p. 70–79, 1997. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(1997\)3%3A2\(70\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1076-0431(1997)3%3A2(70))>. Acesso em: 26 nov. 2012.

PINI. **TCPO - Tabela de Composição de Preços para Orçamento**. São Paulo: PINI, 2013.

PRODUCTSPEC. **Products spec | The National Building, Architecture, Design and Landscape Product Database**. Disponível em: <<http://www.productspec.net/>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

RECK, R. H.; FORMOSO, C. T. Integração entre a simulação computacional e a visualização 4D no apoio à elaboração do projeto. VI Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. **Anais...** São Paulo, Campinas: UNICAMP, 2013.

REQUENA, J. A. V. **Formas e cimbramentos de madeira para edificacoes**. São Carlos: Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, 1983.

SABBATINI, F. H.; AGOPYAN, V. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.

SH FÔRMAS, E. E. ANDAIME. **Manual Sh de Fôrmas para Concreto e Escoramentos Metálicos**. [S.l.] Pini, 2000.

SHEATHER, A. Autodesk® Revit® Structure 3D Detailing : Tips and Tricks You Need to Know. **Autodesk University**, p. 12, 2011.

SILVA, M. M. DE A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. São Paulo: Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, fev. 2003.

SNOW, F. **Formwork for modern structures**. [S.l.] Chapman & Hall, Limited, 1966.

TEKLA. **Formwork modeling with DPR Construction | Tekla**. Disponível em: <<http://www.tekla.com/references/formwork-modeling-dpr-construction>>. Acesso em: dez. 2013.

TIIHONEN, J. et al. **Modeling configurable product families**. Proceedings of the 4th WDK Workshop on Product Structuring. **Anais...**Delft, Netherlands: DTU, 1998.

WANG, W.; WENG, S.; WANG, S; CHEN, C. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68–80, jan. 2014.

WILLIAMS, N; STEHLING, H. OESTERL, S.; KOHLER, M.; GRAMAZIO, F. A Case Study of a Collaborative Digital Workflow in the Design and Production of Formwork for “Non- Standard ” Concrete Structures. **International Journal of Architecture Computing**, v. 09, n. 03, p. 223–240, 2011.

XUE, X. et al. IT supported collaborative work in A/E/C projects: A ten-year review. **Automation in Construction**, v. 21, p. 1-9, jan. 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580511001002>>.

ZENID, G. J. **Madeira na construção civil**. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira na constru%E3o civil.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20na%20construcao%20civil.pdf)>. Acesso em: 4 fev. 2013.

## Glossário

---

Aninhamento – Ato de inserir um componente (família) dentro de outro componente (família).

Família – Denominação de componente virtual da construção da ferramenta REVIT.

Interoperabilidade – É a capacidade de um sistema (informatizado ou não) de se comunicar de forma transparente (ou o mais próximo disso) com outro sistema (semelhante ou não). Para um sistema ser considerado interoperável, é muito importante que ele trabalhe com padrões abertos ou ontologias.

Instanciação – Ato de criar um componente virtual no modelo do REVIT.

*Template* – Nomenclatura em inglês para os arquivos que definem padrões de comportamento dos componentes do REVIT.



## Apêndices

---

## **Apêndice A – Estruturação e parametrização das famílias de formas de pilar**

FAMÍLIA

TABELA DE PARÂMETROS

PLANTA DE PISO

ELEVAÇÃO LATERAL

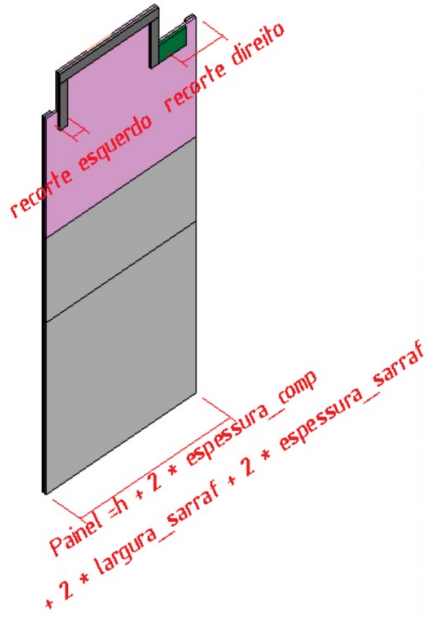
PLANIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
<b>Restrições</b>			
Elevação-padrão	121.92	=	<input type="checkbox"/>
<b>Texto</b>			
Template	Ambiente métrico	=	
Num revisão	00	=	
Data	17/06/2013	=	
Autor	Romeu	=	
<b>Materiais e acabamentos</b>			
Material estrutural (padrão)		=	
<b>Propriedades do modelo</b>			
b (padrão)	20.00	=	<input type="checkbox"/>
* h (padrão)	120.00	=	<input type="checkbox"/>
<b>Dados</b>			
ID Componente (padrão)	0	=	<input type="checkbox"/>
<b>Dados de identidade</b>			
largura_sarraf	7.00	=	<input type="checkbox"/>
* Família aninhada (padrão)			
A+59 (padrão)	166.00	= h + 22 cm + 2 * largura_sarraf + 10 cm	<input type="checkbox"/>
* B+3,6 (padrão)	23.60	= b + 3.6 cm	<input type="checkbox"/>
* B+40,6 (padrão)	47.60	= b + 3.6 cm + 2 * largura_sarraf + 10 cm	<input type="checkbox"/>
* A+22 (padrão)	142.00	= h + 22 cm	<input type="checkbox"/>
* Nota-chave		=	
Modelo		=	
Fabricante		=	
Comentários de tipos		=	

\* PARÂMETROS  
PARA MODELAGEM

PARÂMETRO PARA  
SIMULAÇÃO 4D

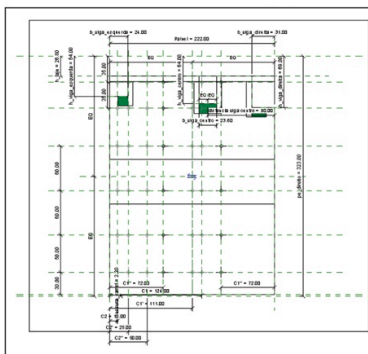
PARÂMETRO PARA  
QUANTIFICAÇÃO

FAMÍLIA	TABELA DE PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	<table><tr><th>Parametro</th><th>Valor</th><th>Formula</th></tr><tr><td colspan="3"><b>Restrições</b></td></tr><tr><td>Elaboração-projeto</td><td>0.00</td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Conteúdo</b></td></tr><tr><td>h_viga_esquerda (padrão)</td><td>50.00</td><td>"</td></tr><tr><td>h_viga_direita (padrão)</td><td>65.00</td><td>"</td></tr><tr><td>h_viga_centro (padrão)</td><td>60.00</td><td>"</td></tr><tr><td>h_larg (padrão)</td><td>25.00</td><td>"</td></tr><tr><td>distancia_viga_centro (padrão)</td><td>90.00</td><td>"</td></tr><tr><td>b_viga_esquerda (padrão)</td><td>13.00</td><td>"</td></tr><tr><td>b_viga_direita (padrão)</td><td>20.00</td><td>"</td></tr><tr><td>b_viga_centro (padrão)</td><td>20.00</td><td>"</td></tr><tr><td>Recorte esquerdo (padrão)</td><td>0</td><td>"</td></tr><tr><td>Recorte direito (padrão)</td><td>0</td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>teste</b></td></tr><tr><td>Template</td><td>Modelo genérico mltica com base na face</td><td>"</td></tr><tr><td>Num-revisão</td><td>00</td><td>"</td></tr><tr><td>Face (padrão)</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td>Data</td><td>12/11/2012</td><td>"</td></tr><tr><td>Autor</td><td>Romeu</td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Materiais e acabamentos</b></td></tr><tr><td>Material estrutural (padrão)</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Propriedades de modelo</b></td></tr><tr><td>h (padrão)</td><td>200.00</td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Unidade</b></td></tr><tr><td>pe_direito</td><td>323.00</td><td>"</td></tr><tr><td>C2 (padrão)</td><td>50.00</td><td>"</td></tr><tr><td>C2 (padrão)</td><td>25.00</td><td>"</td></tr><tr><td>C2 (padrão)</td><td>10.00</td><td>"</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>124.32</td><td>" Panel * 0.56</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>1.00</td><td>" 1 cm</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>1.00</td><td>" Panel * 0.325</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>72.15</td><td>" round(C1 / C1 - 1) * C1</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>72.00</td><td>" Panel * 0.5</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>111.00</td><td>" round(C1 / C1 - 1) * C1</td></tr><tr><td>C1 (padrão)</td><td>124.00</td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Validade</b></td></tr><tr><td>var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_2 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm, var_sarraf_5 = 1 cm</td><td></td><td>" or(var_sarraf_3 = 1 cm, or(var_sarraf_2 = 1 cm, or(var_sarraf_4 = 1 cm, var_sarraf_5 = 1 cm)))</td></tr><tr><td>var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm</td><td></td><td>" or(var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm)</td></tr><tr><td>var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm</td><td></td><td>" or(var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm)</td></tr><tr><td>var_sarraf_3 = 1 cm</td><td></td><td>" var_sarraf_3 = 1 cm</td></tr><tr><td>P10, P107, P140, P158 (padrão)</td><td></td><td>" or(and(north &lt; 70 cm, north &gt; 107 cm), and(north &lt; 140 cm, north &gt; 158 cm))</td></tr><tr><td>P10, P10, P10, P145 (padrão)</td><td></td><td>" or(and(north &lt; 63 cm, north &gt; 69 cm), and(north &lt; 108 cm, north &gt; 145 cm))</td></tr><tr><td>P10, P10, P10, P145 (padrão)</td><td></td><td>" or(and(north &lt; 148 cm, north &gt; 148 cm), and(north &lt; 159 cm, north &gt; 222 cm))</td></tr><tr><td>P10, P10, P10, P145 (padrão)</td><td></td><td>" or(and(north &lt; 148 cm, north &gt; 148 cm), and(north &lt; 159 cm, north &gt; 222 cm))</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Outros</b></td></tr><tr><td>var_sarraf_3</td><td>0.00</td><td>" if(Compensado = teste_sarraf_3, 1 cm, 0 cm)</td></tr><tr><td>var_sarraf_4</td><td>1.00</td><td>" if(Compensado = teste_sarraf_4, 1 cm, 0 cm)</td></tr><tr><td>var_sarraf_5</td><td>0.00</td><td>" if(Compensado = teste_sarraf_5, 1 cm, 0 cm)</td></tr><tr><td>var_sarraf_2</td><td>0.00</td><td>" if(Compensado = teste_sarraf_2, 1 cm, 0 cm)</td></tr><tr><td>var_sarraf_1</td><td>0.00</td><td>" if(Compensado = teste_sarraf_1, 1 cm, 0 cm)</td></tr><tr><td>teste_sarraf_3-Quadro estrutural</td><td>Compensado contido: Sem recorte</td><td>"</td></tr><tr><td>teste_sarraf_4-Quadro estrutural</td><td>Compensado contido: Recorte nas laterais</td><td>"</td></tr><tr><td>teste_sarraf_5-Quadro estrutural</td><td>Compensado contido: Recorte esquerdo</td><td>"</td></tr><tr><td>teste_sarraf_2-Quadro estrutural</td><td>Compensado contido: Recorte direito</td><td>"</td></tr><tr><td>teste_sarraf_1-Quadro estrutural</td><td>Compensado contido: Recorte central</td><td>"</td></tr><tr><td>Pilar de borda (padrão)</td><td>0</td><td>"</td></tr><tr><td>Compensado-Quadro estrutural</td><td>Compensado contido: Recorte nas laterais</td><td>"</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Dados de Identidade</b></td></tr><tr><td>teste de borda_P10, P107, P140, P158 (padrão)</td><td></td><td>" and(orland(north &lt; 70 cm, north &gt; 107 cm), and(north &lt; 140 cm, north &gt; 158 cm)), Pilar de borda</td></tr><tr><td>teste de borda_P10, P10, P10, P145 (padrão)</td><td></td><td>" and(orland(north &lt; 63 cm, north &gt; 69 cm), and(north &lt; 108 cm, north &gt; 145 cm)), Pilar de borda</td></tr><tr><td>teste de borda_P10, P10, P10, P145 (padrão)</td><td></td><td>" and(orland(north &lt; 148 cm, north &gt; 148 cm), and(north &lt; 159 cm, north &gt; 222 cm)), Pilar de borda</td></tr><tr><td>recorte_at_pilar</td><td>138.80</td><td>" at_panel - (222 cm - 60 cm)</td></tr><tr><td>largura_sarraf</td><td>7.00</td><td>"</td></tr><tr><td>h_viga_esquerda (padrão)</td><td>54.00</td><td>" h_viga_esquerda - 4 cm</td></tr><tr><td>h_viga_direita (padrão)</td><td>69.00</td><td>" h_viga_direita - 4 cm</td></tr><tr><td>h_viga_centro (padrão)</td><td>64.00</td><td>" h_viga_centro - 4 cm</td></tr><tr><td>h_larg (padrão)</td><td>26.80</td><td>" h_larg - 1.8 cm</td></tr><tr><td>espessura_sarraf</td><td>2.30</td><td>"</td></tr><tr><td>espessura_comp</td><td>1.80</td><td>"</td></tr><tr><td>comp_sarraf_pressao_atq (padrão)</td><td>266.80</td><td>" pe_direito - h_viga_esquerda - 4 cm - 4 cm - 1.8 cm</td></tr><tr><td>comp_sarraf_pressao_dir (padrão)</td><td>251.80</td><td>" pe_direito - h_viga_direita - 4 cm - 4 cm - 1.8 cm</td></tr><tr><td>comp_sarraf_larg_atq (padrão)</td><td>120.20</td><td>" Panel - (distancia_viga_centro - (b_viga_centro + 3.6 cm) / 2)</td></tr><tr><td>comp_sarraf_larg_dir (padrão)</td><td>78.20</td><td>" distancia_viga_centro - (b_viga_centro + 3.6 cm) / 2</td></tr><tr><td>comp_sarraf_larg (padrão)</td><td>167.00</td><td>" Panel - b_viga_esquerda - b_viga_direita</td></tr><tr><td>comp_sarraf_atq (padrão)</td><td>33.60</td><td>" (b_viga_esquerda - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm</td></tr><tr><td>comp_sarraf_dir (padrão)</td><td>48.00</td><td>" (b_viga_direita - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm</td></tr><tr><td>comp_sarraf_centro (padrão)</td><td>43.00</td><td>" (b_viga_centro - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm</td></tr><tr><td>chapeco_viga_atq (padrão)</td><td>13.00</td><td>" if(b_viga_esquerda &lt; 11 cm &amp; 0 cm, 1 cm, b_viga_esquerda - 11 cm)</td></tr><tr><td>chapeco_viga_dir (padrão)</td><td>20.00</td><td>" if(b_viga_direita &lt; 11 cm &amp; 0 cm, 1 cm, b_viga_direita - 11 cm)</td></tr><tr><td>h_viga_esquerda (padrão)</td><td>24.00</td><td>" if(Recorte esquerdo, b_viga_esquerda + 11 cm, b_viga_esquerda + 1.8 cm + 11 cm)</td></tr><tr><td>h_viga_direita (padrão)</td><td>31.00</td><td>" if(Recorte direito, b_viga_direita + 11 cm, b_viga_direita + 1.8 cm + 11 cm)</td></tr><tr><td>h_viga_centro (padrão)</td><td>23.60</td><td>" b_viga_centro + 3.6 cm</td></tr><tr><td>at_panel</td><td>320.80</td><td>" pe_direito - espessura_sarraf</td></tr><tr><td>Panel (padrão)</td><td>222.00</td><td>" h + 2 * espessura_comp + 2 * largura_sarraf + 2 * espessura_sarraf</td></tr><tr><td colspan="3"><b>Panel de pilar</b></td></tr><tr><td>3D Componente</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td>Modulo</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td>Fabricante</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td>Comentários de tipos</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td>URL</td><td></td><td>"</td></tr></table>	Parametro	Valor	Formula	<b>Restrições</b>			Elaboração-projeto	0.00	"	<b>Conteúdo</b>			h_viga_esquerda (padrão)	50.00	"	h_viga_direita (padrão)	65.00	"	h_viga_centro (padrão)	60.00	"	h_larg (padrão)	25.00	"	distancia_viga_centro (padrão)	90.00	"	b_viga_esquerda (padrão)	13.00	"	b_viga_direita (padrão)	20.00	"	b_viga_centro (padrão)	20.00	"	Recorte esquerdo (padrão)	0	"	Recorte direito (padrão)	0	"	<b>teste</b>			Template	Modelo genérico mltica com base na face	"	Num-revisão	00	"	Face (padrão)		"	Data	12/11/2012	"	Autor	Romeu	"	<b>Materiais e acabamentos</b>			Material estrutural (padrão)		"	<b>Propriedades de modelo</b>			h (padrão)	200.00	"	<b>Unidade</b>			pe_direito	323.00	"	C2 (padrão)	50.00	"	C2 (padrão)	25.00	"	C2 (padrão)	10.00	"	C1 (padrão)	124.32	" Panel * 0.56	C1 (padrão)	1.00	" 1 cm	C1 (padrão)	1.00	" Panel * 0.325	C1 (padrão)	72.15	" round(C1 / C1 - 1) * C1	C1 (padrão)	72.00	" Panel * 0.5	C1 (padrão)	111.00	" round(C1 / C1 - 1) * C1	C1 (padrão)	124.00	"	<b>Validade</b>			var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_2 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm, var_sarraf_5 = 1 cm		" or(var_sarraf_3 = 1 cm, or(var_sarraf_2 = 1 cm, or(var_sarraf_4 = 1 cm, var_sarraf_5 = 1 cm)))	var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm		" or(var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm)	var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm		" or(var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm)	var_sarraf_3 = 1 cm		" var_sarraf_3 = 1 cm	P10, P107, P140, P158 (padrão)		" or(and(north < 70 cm, north > 107 cm), and(north < 140 cm, north > 158 cm))	P10, P10, P10, P145 (padrão)		" or(and(north < 63 cm, north > 69 cm), and(north < 108 cm, north > 145 cm))	P10, P10, P10, P145 (padrão)		" or(and(north < 148 cm, north > 148 cm), and(north < 159 cm, north > 222 cm))	P10, P10, P10, P145 (padrão)		" or(and(north < 148 cm, north > 148 cm), and(north < 159 cm, north > 222 cm))	<b>Outros</b>			var_sarraf_3	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_3, 1 cm, 0 cm)	var_sarraf_4	1.00	" if(Compensado = teste_sarraf_4, 1 cm, 0 cm)	var_sarraf_5	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_5, 1 cm, 0 cm)	var_sarraf_2	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_2, 1 cm, 0 cm)	var_sarraf_1	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_1, 1 cm, 0 cm)	teste_sarraf_3-Quadro estrutural	Compensado contido: Sem recorte	"	teste_sarraf_4-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte nas laterais	"	teste_sarraf_5-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte esquerdo	"	teste_sarraf_2-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte direito	"	teste_sarraf_1-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte central	"	Pilar de borda (padrão)	0	"	Compensado-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte nas laterais	"	<b>Dados de Identidade</b>			teste de borda_P10, P107, P140, P158 (padrão)		" and(orland(north < 70 cm, north > 107 cm), and(north < 140 cm, north > 158 cm)), Pilar de borda	teste de borda_P10, P10, P10, P145 (padrão)		" and(orland(north < 63 cm, north > 69 cm), and(north < 108 cm, north > 145 cm)), Pilar de borda	teste de borda_P10, P10, P10, P145 (padrão)		" and(orland(north < 148 cm, north > 148 cm), and(north < 159 cm, north > 222 cm)), Pilar de borda	recorte_at_pilar	138.80	" at_panel - (222 cm - 60 cm)	largura_sarraf	7.00	"	h_viga_esquerda (padrão)	54.00	" h_viga_esquerda - 4 cm	h_viga_direita (padrão)	69.00	" h_viga_direita - 4 cm	h_viga_centro (padrão)	64.00	" h_viga_centro - 4 cm	h_larg (padrão)	26.80	" h_larg - 1.8 cm	espessura_sarraf	2.30	"	espessura_comp	1.80	"	comp_sarraf_pressao_atq (padrão)	266.80	" pe_direito - h_viga_esquerda - 4 cm - 4 cm - 1.8 cm	comp_sarraf_pressao_dir (padrão)	251.80	" pe_direito - h_viga_direita - 4 cm - 4 cm - 1.8 cm	comp_sarraf_larg_atq (padrão)	120.20	" Panel - (distancia_viga_centro - (b_viga_centro + 3.6 cm) / 2)	comp_sarraf_larg_dir (padrão)	78.20	" distancia_viga_centro - (b_viga_centro + 3.6 cm) / 2	comp_sarraf_larg (padrão)	167.00	" Panel - b_viga_esquerda - b_viga_direita	comp_sarraf_atq (padrão)	33.60	" (b_viga_esquerda - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm	comp_sarraf_dir (padrão)	48.00	" (b_viga_direita - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm	comp_sarraf_centro (padrão)	43.00	" (b_viga_centro - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm	chapeco_viga_atq (padrão)	13.00	" if(b_viga_esquerda < 11 cm & 0 cm, 1 cm, b_viga_esquerda - 11 cm)	chapeco_viga_dir (padrão)	20.00	" if(b_viga_direita < 11 cm & 0 cm, 1 cm, b_viga_direita - 11 cm)	h_viga_esquerda (padrão)	24.00	" if(Recorte esquerdo, b_viga_esquerda + 11 cm, b_viga_esquerda + 1.8 cm + 11 cm)	h_viga_direita (padrão)	31.00	" if(Recorte direito, b_viga_direita + 11 cm, b_viga_direita + 1.8 cm + 11 cm)	h_viga_centro (padrão)	23.60	" b_viga_centro + 3.6 cm	at_panel	320.80	" pe_direito - espessura_sarraf	Panel (padrão)	222.00	" h + 2 * espessura_comp + 2 * largura_sarraf + 2 * espessura_sarraf	<b>Panel de pilar</b>			3D Componente		"	Modulo		"	Fabricante		"	Comentários de tipos		"	URL		"
Parametro	Valor	Formula																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Restrições</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Elaboração-projeto	0.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Conteúdo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
h_viga_esquerda (padrão)	50.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_direita (padrão)	65.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_centro (padrão)	60.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_larg (padrão)	25.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
distancia_viga_centro (padrão)	90.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
b_viga_esquerda (padrão)	13.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
b_viga_direita (padrão)	20.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
b_viga_centro (padrão)	20.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Recorte esquerdo (padrão)	0	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Recorte direito (padrão)	0	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>teste</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Template	Modelo genérico mltica com base na face	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Num-revisão	00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Face (padrão)		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Data	12/11/2012	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Autor	Romeu	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Materiais e acabamentos</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Material estrutural (padrão)		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Propriedades de modelo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
h (padrão)	200.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Unidade</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
pe_direito	323.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
C2 (padrão)	50.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
C2 (padrão)	25.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
C2 (padrão)	10.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	124.32	" Panel * 0.56																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	1.00	" 1 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	1.00	" Panel * 0.325																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	72.15	" round(C1 / C1 - 1) * C1																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	72.00	" Panel * 0.5																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	111.00	" round(C1 / C1 - 1) * C1																																																																																																																																																																																																																																																																																
C1 (padrão)	124.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Validade</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_2 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm, var_sarraf_5 = 1 cm		" or(var_sarraf_3 = 1 cm, or(var_sarraf_2 = 1 cm, or(var_sarraf_4 = 1 cm, var_sarraf_5 = 1 cm)))																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm		" or(var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm		" or(var_sarraf_3 = 1 cm, var_sarraf_4 = 1 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_3 = 1 cm		" var_sarraf_3 = 1 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
P10, P107, P140, P158 (padrão)		" or(and(north < 70 cm, north > 107 cm), and(north < 140 cm, north > 158 cm))																																																																																																																																																																																																																																																																																
P10, P10, P10, P145 (padrão)		" or(and(north < 63 cm, north > 69 cm), and(north < 108 cm, north > 145 cm))																																																																																																																																																																																																																																																																																
P10, P10, P10, P145 (padrão)		" or(and(north < 148 cm, north > 148 cm), and(north < 159 cm, north > 222 cm))																																																																																																																																																																																																																																																																																
P10, P10, P10, P145 (padrão)		" or(and(north < 148 cm, north > 148 cm), and(north < 159 cm, north > 222 cm))																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Outros</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
var_sarraf_3	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_3, 1 cm, 0 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_4	1.00	" if(Compensado = teste_sarraf_4, 1 cm, 0 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_5	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_5, 1 cm, 0 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_2	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_2, 1 cm, 0 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
var_sarraf_1	0.00	" if(Compensado = teste_sarraf_1, 1 cm, 0 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste_sarraf_3-Quadro estrutural	Compensado contido: Sem recorte	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste_sarraf_4-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte nas laterais	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste_sarraf_5-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte esquerdo	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste_sarraf_2-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte direito	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste_sarraf_1-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte central	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Pilar de borda (padrão)	0	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Compensado-Quadro estrutural	Compensado contido: Recorte nas laterais	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Dados de Identidade</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
teste de borda_P10, P107, P140, P158 (padrão)		" and(orland(north < 70 cm, north > 107 cm), and(north < 140 cm, north > 158 cm)), Pilar de borda																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste de borda_P10, P10, P10, P145 (padrão)		" and(orland(north < 63 cm, north > 69 cm), and(north < 108 cm, north > 145 cm)), Pilar de borda																																																																																																																																																																																																																																																																																
teste de borda_P10, P10, P10, P145 (padrão)		" and(orland(north < 148 cm, north > 148 cm), and(north < 159 cm, north > 222 cm)), Pilar de borda																																																																																																																																																																																																																																																																																
recorte_at_pilar	138.80	" at_panel - (222 cm - 60 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
largura_sarraf	7.00	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_esquerda (padrão)	54.00	" h_viga_esquerda - 4 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_direita (padrão)	69.00	" h_viga_direita - 4 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_centro (padrão)	64.00	" h_viga_centro - 4 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_larg (padrão)	26.80	" h_larg - 1.8 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
espessura_sarraf	2.30	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
espessura_comp	1.80	"																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_pressao_atq (padrão)	266.80	" pe_direito - h_viga_esquerda - 4 cm - 4 cm - 1.8 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_pressao_dir (padrão)	251.80	" pe_direito - h_viga_direita - 4 cm - 4 cm - 1.8 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_larg_atq (padrão)	120.20	" Panel - (distancia_viga_centro - (b_viga_centro + 3.6 cm) / 2)																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_larg_dir (padrão)	78.20	" distancia_viga_centro - (b_viga_centro + 3.6 cm) / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_larg (padrão)	167.00	" Panel - b_viga_esquerda - b_viga_direita																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_atq (padrão)	33.60	" (b_viga_esquerda - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_dir (padrão)	48.00	" (b_viga_direita - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
comp_sarraf_centro (padrão)	43.00	" (b_viga_centro - h_larg - largura_sarraf) + 15 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
chapeco_viga_atq (padrão)	13.00	" if(b_viga_esquerda < 11 cm & 0 cm, 1 cm, b_viga_esquerda - 11 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
chapeco_viga_dir (padrão)	20.00	" if(b_viga_direita < 11 cm & 0 cm, 1 cm, b_viga_direita - 11 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_esquerda (padrão)	24.00	" if(Recorte esquerdo, b_viga_esquerda + 11 cm, b_viga_esquerda + 1.8 cm + 11 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_direita (padrão)	31.00	" if(Recorte direito, b_viga_direita + 11 cm, b_viga_direita + 1.8 cm + 11 cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																
h_viga_centro (padrão)	23.60	" b_viga_centro + 3.6 cm																																																																																																																																																																																																																																																																																
at_panel	320.80	" pe_direito - espessura_sarraf																																																																																																																																																																																																																																																																																
Panel (padrão)	222.00	" h + 2 * espessura_comp + 2 * largura_sarraf + 2 * espessura_sarraf																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>Panel de pilar</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																		
3D Componente		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Modulo		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Fabricante		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comentários de tipos		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
URL		"																																																																																																																																																																																																																																																																																
	<div>PARÂMETROS PARA MODELAGEM E PARAMETRIZAÇÃO</div> <div>PARÂMETRO PARA SIMULAÇÃO 4D</div> <div>PARÂMETRO PARA QUANTIFICAÇÃO</div>																																																																																																																																																																																																																																																																																	

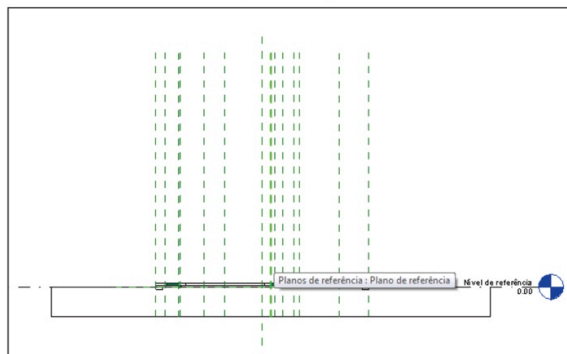
PLANIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

## PLANIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

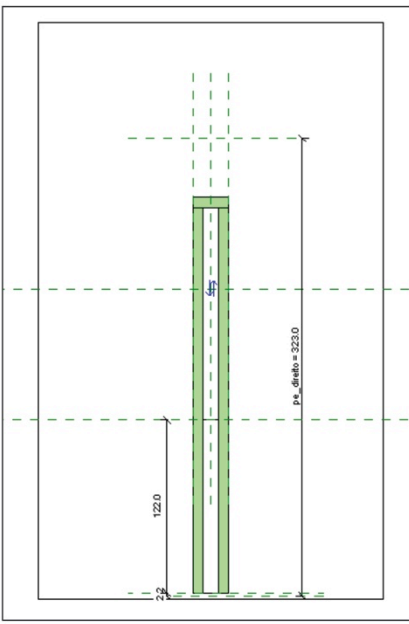

PLANTA DE PISO



VISTA FRONTAL





FAMÍLIA	PLANIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES	
 <p><i>largura_painel = b</i></p>	<p>PLANTA DE PISO</p> 	<p>VISTA FRONTAL</p> 

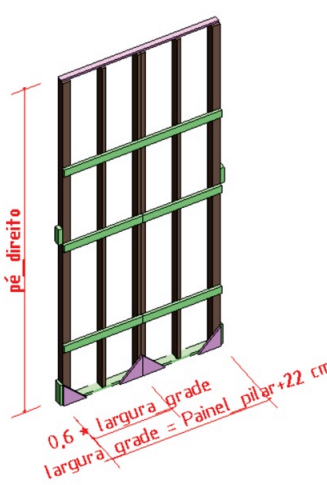
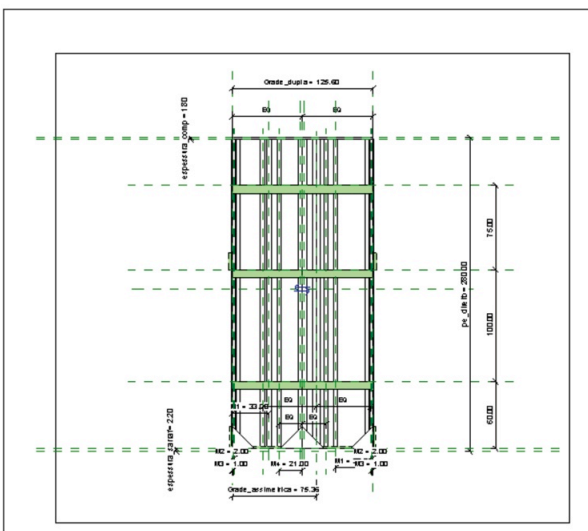
## TABELA DE PARÂMETROS

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
<b>Restrições</b>			
Elevação-padrão	0.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Construção</b>			
* h_viga (padrão)	40.00	=	<input type="checkbox"/>
* Comprimento do sarrafo esquerdo (padrão)	250.00	=	<input type="checkbox"/>
* Comprimento do sarrafo direito (padrão)	250.00	=	<input type="checkbox"/>
* Ajuste de sarrafo de pressao esquerdo (padrão)	<input type="checkbox"/>	=	
* Ajuste de sarrafo de pressao direito (padrão)	<input type="checkbox"/>	=	
<b>Texto</b>			
Template	Modelo genérico métrico com base na face	=	
Num revisão	00	=	
Face (padrão)		=	
Data	17/06/2013	=	
Autor	Romeu	=	
<b>Materiais e acabamentos</b>			
Material estrutural (padrão)		=	
<b>Dados</b>			
* pe_direito	323.00	=	<input type="checkbox"/>
* D (padrão)	25.00	=	<input type="checkbox"/>
<b>Visibilidade</b>			
* Visibilidade sarrafo de apoio (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	= and(not(Ajuste de sarrafo de pressao esquerdo), not(Ajuste de sarrafo de pressao direito))	
<b>Dados de identidade</b>			
* largura_sarraf	7.00	=	<input type="checkbox"/>
* espessura_sarraf	2.20	= 2.2 cm	<input type="checkbox"/>
* espessura_comp	1.80	= 1.8 cm	<input type="checkbox"/>
* alt_sarraf_esq (padrão)	272.00	= if(Ajuste de sarrafo de pressao esquerdo, Comprimento do sarrafo esquerdo - alt_sarraf_dir, alt_sarraf_dir)	<input type="checkbox"/>
* alt_sarraf_dir (padrão)	272.00	= if(Ajuste de sarrafo de pressao direito, Comprimento do sarrafo direito - alt_sarraf_esq, alt_sarraf_esq)	<input type="checkbox"/>
* alt_recorte (padrão)	157.00	= pe_direito - 122 cm - h_viga - espessura_comp - 2.2 cm	<input type="checkbox"/>
Família aninhada	Painel de pilar	= "Painel de pilar"	
ID Componente		=	
Modelo		=	
Fabricante		=	
Comentários de tipos		=	
URL		=	
Descrição		=	

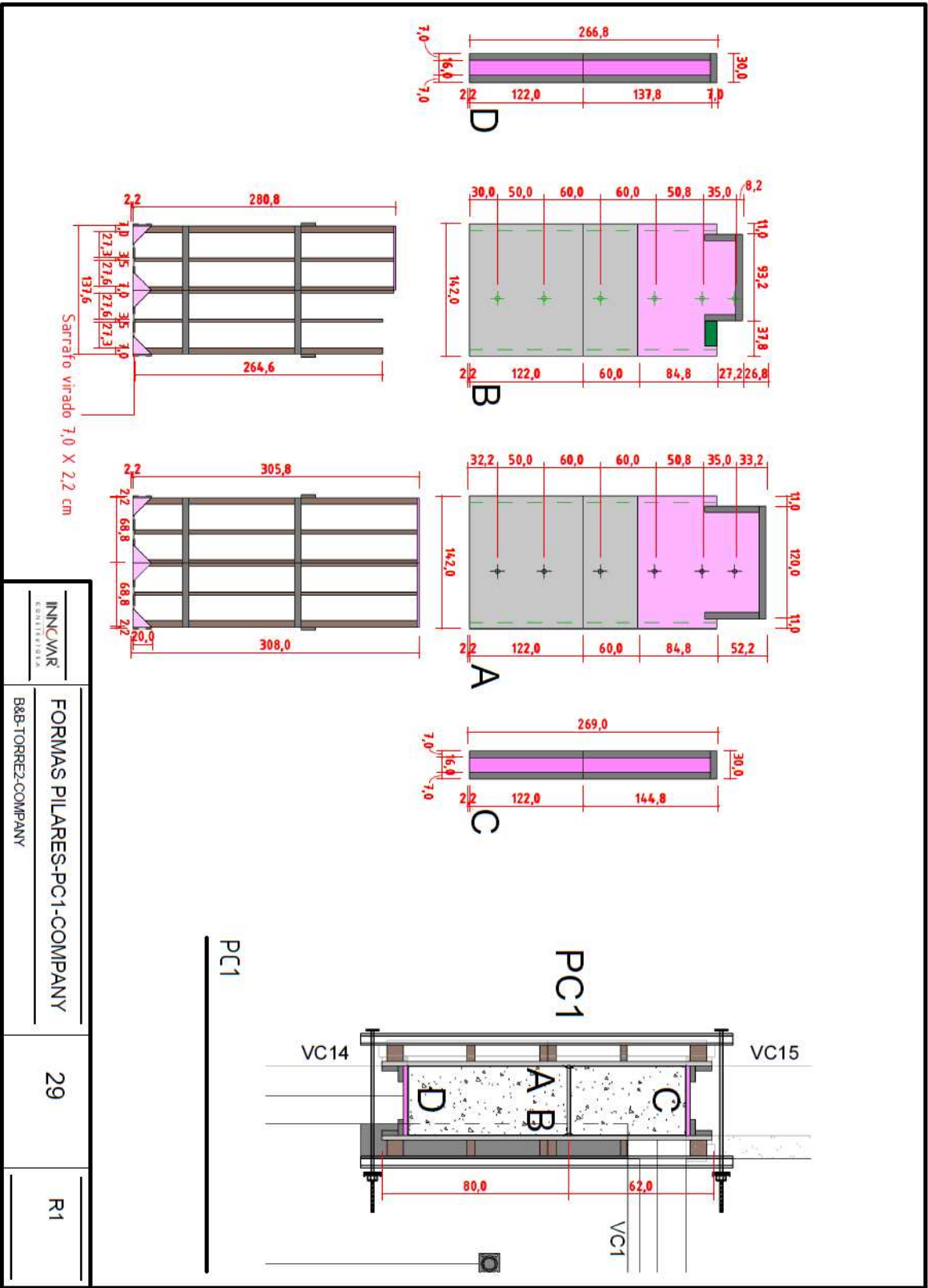
PARÂMETROS  
PARA MODELAGEM

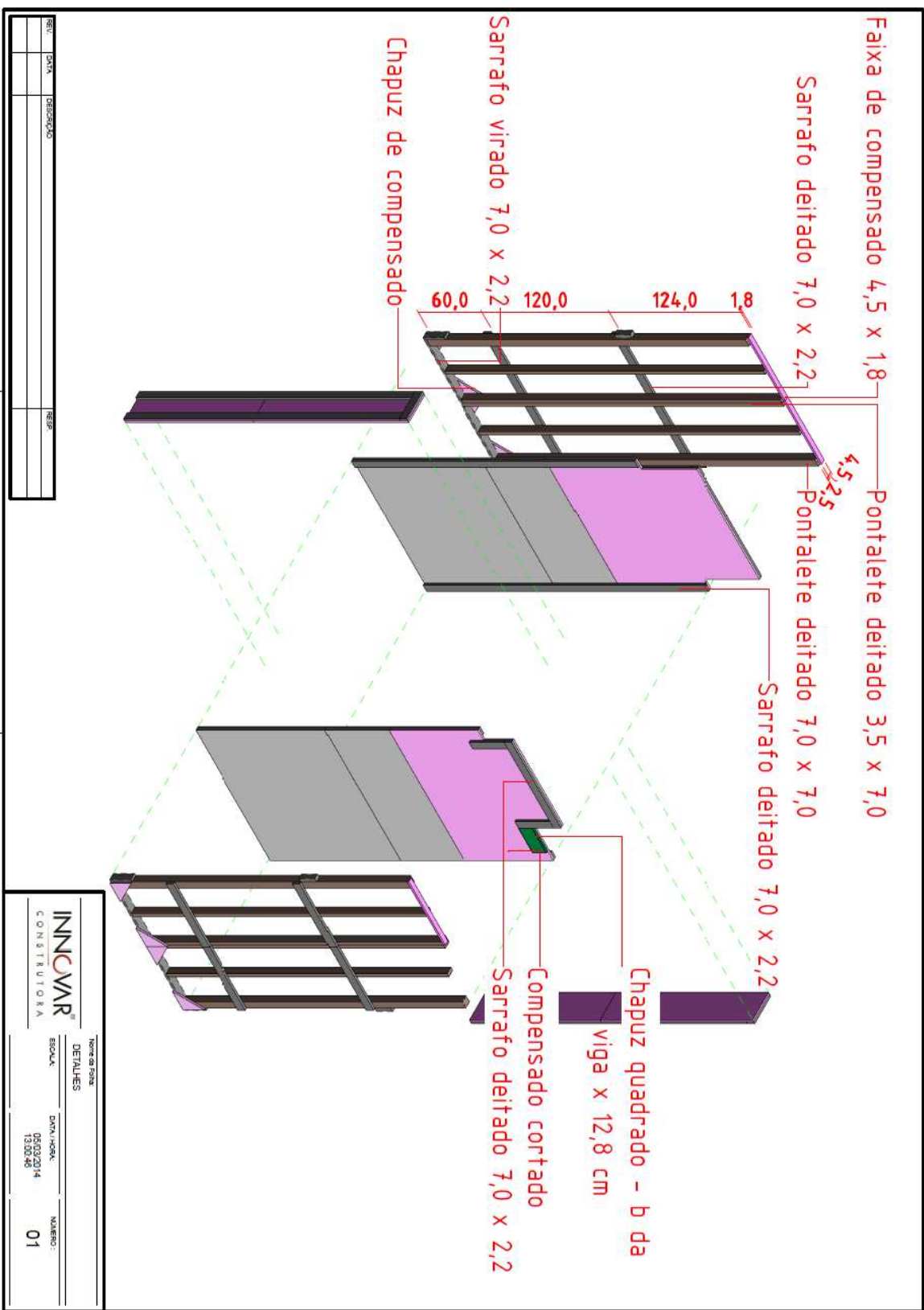
PARÂMETRO PARA  
SIMULAÇÃO 4D

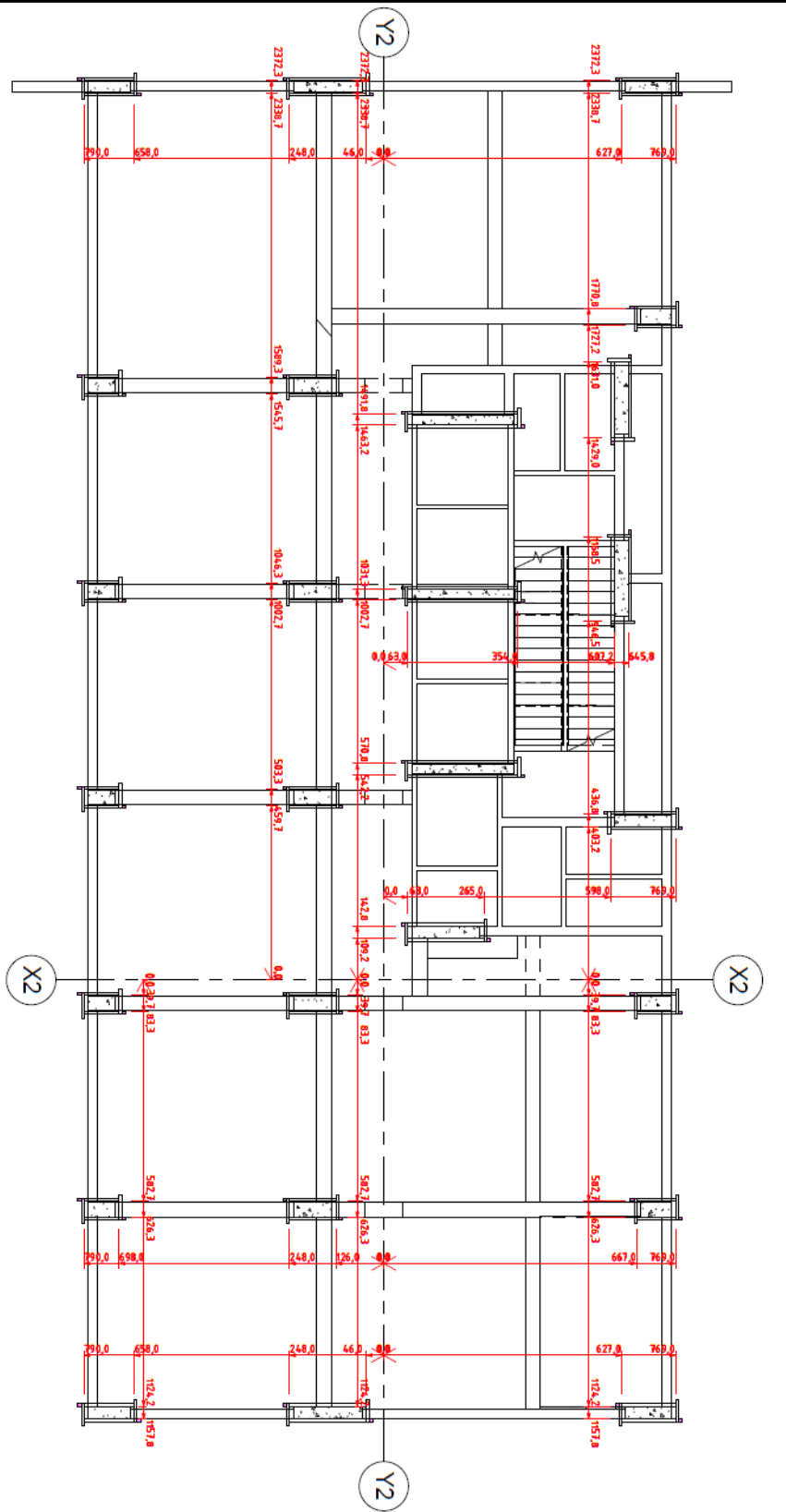
PARÂMETRO PARA  
QUANTIFICAÇÃO

FAMÍLIA	PLANIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES		
<div></div>	<div><p>PLANTA DE PISO</p></div>		
TABELA DE PARÂMETROS			
Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
<b>Restrições</b>			
Elevação-padrão	0.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Construção</b>			
M4_	1.00		<input type="checkbox"/>
M4_	20.10	= Grade * 0.32	<input type="checkbox"/>
M4	21.00	= roundup(M4_ / M4_) * M4_	<input type="checkbox"/>
M3_	1.00		<input type="checkbox"/>
M3_	1.00	= if(and(not(Face_Pilar < 188 cm), not(Face_Pilar > 222 cm)))	<input type="checkbox"/>
M3	1.00	= roundup(M3_ / M3_) * M3_	<input type="checkbox"/>
M2_	1.00		<input type="checkbox"/>
M2_	2.00	= if(and(not(Face_Pilar < 149 cm), not(Face_Pilar > 187 cm)))	<input type="checkbox"/>
M2	2.00	= roundup(M2_ / M2_) * M2_	<input type="checkbox"/>
M1_	1.00		<input type="checkbox"/>
M1	33.00	= roundup(M1_ / M1_) * M1_	<input type="checkbox"/>
M1	32.66	= if(and(not(Face_Pilar < 104 cm), not(Face_Pilar > 148 cm)))	<input type="checkbox"/>
<b>Texto</b>			
Template	Modelo genérico métrico com base na face	=	<input type="checkbox"/>
Num revisão	00	=	<input type="checkbox"/>
Face (padrão)		=	<input type="checkbox"/>
Data	12/11/2012	=	<input type="checkbox"/>
Autor	Romeu	=	<input type="checkbox"/>
<b>Materiais e acabamentos</b>			
Material estrutural (padrão)	Pine	=	<input type="checkbox"/>
<b>Dados</b>			
pe_direito	280.00	=	<input type="checkbox"/>
Face_Pilar	108.00	=	<input type="checkbox"/>
<b>Visibilidade</b>			
P108_P222	<input type="checkbox"/>	= and(not(Face_Pilar < 188 cm), not(Face_Pilar > 222 cm))	<input type="checkbox"/>
P149_P187	<input type="checkbox"/>	= and(not(Face_Pilar < 149 cm), not(Face_Pilar > 187 cm))	<input type="checkbox"/>
P108_P148_P188_P222	<input checked="" type="checkbox"/>	= or(and(not(Face_Pilar < 104 cm), not(Face_Pilar > 148 cm))	<input type="checkbox"/>
P108_P148	<input checked="" type="checkbox"/>	= and(not(Face_Pilar < 104 cm), not(Face_Pilar > 148 cm))	<input type="checkbox"/>
<b>Dados de identidade</b>			
largura_sarraf	7.00	=	<input type="checkbox"/>
largura_pont	7.00	=	<input type="checkbox"/>
espessura_sarraf	2.20	=	<input type="checkbox"/>
espessura_comp	1.80	=	<input type="checkbox"/>
comp_pontaletes	273.80	= pe_direito - 2 * espessura_sarraf - espessura_comp	<input type="checkbox"/>
Grade_dupla	125.60	= Face_Pilar + 2 * espessura_comp + 2 * largura_pont	<input type="checkbox"/>
Grade_assimetrica	75.36	= Grade_dupla * 0.6	<input type="checkbox"/>
Grade	62.80	= Grade_dupla / 2	<input type="checkbox"/>
Família aninhada	Grade de pilar	= "Grade de pilar"	<input type="checkbox"/>
ID Componente		=	<input type="checkbox"/>
Nota-chave		=	<input type="checkbox"/>
Modelo		=	<input type="checkbox"/>
Fabricante		=	<input type="checkbox"/>
URL		=	<input type="checkbox"/>
Descrição		=	<input type="checkbox"/>
Código de montagem		=	<input type="checkbox"/>
Classificação de incêndio		=	<input type="checkbox"/>
Custo		=	<input type="checkbox"/>
★ PARÂMETROS PARA MODELAGEM			
PARÂMETRO PARA SIMULAÇÃO 4D			
PARÂMETRO PARA QUANTIFICAÇÃO			

## **Apêndice B – Estudo de caso do Projeto Construtivo de Formas de Madeira**







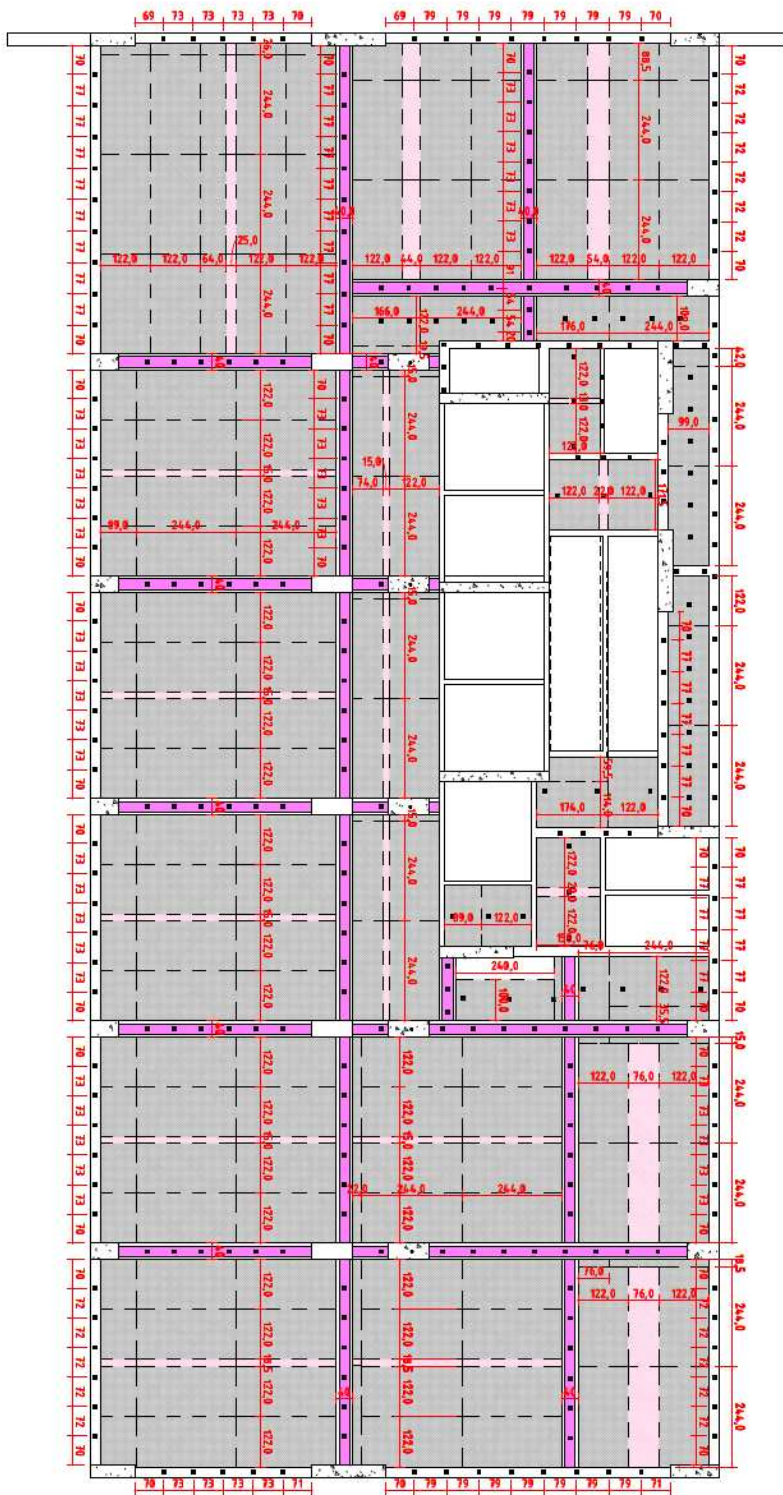
# 1 Planta de marcação

1 : 100

REF.	DATA	DESCRIÇÃO	REVIS.

Nome do Projeto	
PLANTA DE LOCAÇÃO	
ESCALA	DATA/HORA
1 : 100	28/03/2014 22:26:01
NÚMERO : 56	





1  
1 : 100  
Planta de painéis de laje - Cotagem

PROJ.	DATA	DESCRIÇÃO	REVISÃO

INNOVAR <sup>TM</sup>		PLANTA DE LAJE - COTAS	
CONSTRUTORA		ESCALA	
		DATA/HORA	
		28/03/2014	
		22:26:03	
		NÚMERO	
		57	

Sarrafos				
Peca	Largura	Espessura	Comprimento	Peca de origem
Tipo				
Sarrafo deitado	7,0 cm	2,2 cm	249,8 m	Gastalhos
Sarrafo virado	5,0 cm	3,5 cm	15,6 m	Grade de pilar
Sarrafo deitado	7,0 cm	2,2 cm	155,3 m	Grade de pilar
Sarrafo virado	7,0 cm	2,2 cm	98,5 m	Grade de pilar
Sarrafo deitado	7,0 cm	2,2 cm	705,2 m	Painel de pilar
Sarrafo de topo	7,0 cm	2,2 cm	52,1 m	Painel de viga
Sarrafo deitado	7,0 cm	2,2 cm	595,3 m	Painel de viga
			1871,7 m	

Pontaletes				
Peca	Tipo	Espessura	Comprimento	
Tipo				
Pontalete deitado	Inteiro	7,0 cm	166,2 m	
Pontalete deitado	Inteiro.	7,0 cm	17,6 m	
Pontalete deitado	Meio	7,0 cm	477,5 m	
Pontalete deitado cortado	Inteiro	7,0 cm	111,7 m	
Pontalete deitado cortado	Meio	7,0 cm	80,4 m	
			853,4 m	

Compensado para pilar e viga		
Peca	Area	Numero de chapas
Compensado cortado		
Compensado cortado	234,544 m <sup>2</sup>	88
Compensado deitado	453,588 m <sup>2</sup>	119
Compensado em pé	218,945 m <sup>2</sup>	45
907,077 m <sup>2</sup>		252
Compensados de laje		
Peca	Área	Numero de chapas
Forro de Laje de Compensado		
Forro de Laje de Compensado	401,488 m <sup>2</sup>	126
401,488 m <sup>2</sup>		126


**\* Observação:**

Solicitar madeiramento aparelhado, preferencialmente madeira pinus tratada.

Seguir bitolagem de acordo com a Tabela de Sarrafos e Pontaletes.

Os Pontaletes do tipo "Meio" são pontaletes de 3,5 cm x 7 cm.

Os sarrafos podem ser todos de 2,2 cm de espessura.

			
QUANTITATIVO		55	
B&B-TORREZ-COMPANY			