

Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

EZEQUIEL ROSA DIAS

ANÁLISE DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO
(BIM) EM PROCESSOS DE PROJETOS INDUSTRIAIS

Belo Horizonte

2015

Ezequiel Rosa Dias

ANÁLISE DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM) EM PROCESSOS DE PROJETOS INDUSTRIAIS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Departamento de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Gestão de Empreendimentos de Construção Civil – *Building Information Modeling*

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2015

D541a	<p>Dias, Ezequiel Rosa. Análise da modelagem da informação da construção (BIM) em processos de projetos industriais [manuscrito] / Ezequiel Rosa Dias. – 2015. xvi, 225 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Eduardo Marques Arantes.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Inclui bibliografia.</p> <p>1. Construção civil - Teses. 2. Modelagem de informações - Teses. 3. Administração de projetos - Teses. I. Arantes, Eduardo Marques. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDU: 691(043)</p>
-------	---

FOLHA DE APROVAÇÃO

EZEQUIEL ROSA DIAS

ANÁLISE DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO
(BIM) EM PROCESSOS DE PROJETOS INDUSTRIAIS

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de mestre, pelo curso de Pós-Graduação em Construção Civil, do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Universidade Federal de Minas Gerais, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, UFMG

Examinadores:



Prof. Dr. Túlio Márcio de Salles Tibúrcio
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFV



Prof. Dr. Eduardo Romeiro Filho
Departamento de Engenharia de Produção, UFMG

Belo Horizonte, 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e infinitamente ao Único e Eterno Deus, o Autor da Vida, ao “*que chama à existência as coisas que não existem como se elas existissem*”, pelo dom da Vida, pelo cuidado e Amor inigualáveis por mim, pelo Perdão, pela Graça, pela Paz, pelas portas abertas e por ser Ele a Verdadeira Vida! Tu és o Único. A Essência. O Caminho. O meu Deus!!!!!!!

Aos meus pais, Sr. Noé e Dona Geneci, pelo amor incondicional, pelo cuidado e pelas orações, principalmente pelas madrugadas afora. Vocês são a representação mais real do amor de Deus por mim!!!

À minha namorada, Aninha, pela compreensão e companheirismo de sempre, pelos *backups* da minha dissertação (rsrsrs), pelo apoio e por contribuir para que minha vida fosse “*muuuuuuuuuuito legal!!!*” durante todo este período de mestrado.

Aos meus irmãos e irmãs (*Maí, Maura, Dico, Niel, Rose, Taé e Bezim*) e suas famílias pelo apoio, amor, carinho e por acreditarem em mim sempre. Amo todos vocês!

A todos os meus familiares, que são também minha família;

À família IEMP, aos irmãos na fé em Cristo e aos meus amigos por estarem sempre ao meu lado e pelo apoio e suporte incondicionais em todos os sentidos e em todos os tempos;

À UFMG por ser minha casa acadêmica. Como me sinto em casa aqui!!!

À Escola de Engenharia da UFMG pela enorme contribuição à minha formação acadêmica até este momento;

Ao Departamento de Engenharia de Materiais e Construção pelo suporte de sempre e pela abertura das portas do mestrado para que eu pudesse realizar este sonho! #Sou+UFMG-EEUFMG-DEMC!!!

Ao professor Dr. Eduardo Marques Arantes pela orientação, paciência, fornecimento de material de apoio, pelo interesse em contribuir à minha formação acadêmica, pelas várias correções do texto deste trabalho, pelo acompanhamento e atendimento mesmo fora do horário e período de trabalho... até mesmo em férias, feriados e finais de semana. Muito obrigado por todo seu apoio, pelas correções e contribuições!

Ao professor Dr. Paulo Roberto Pereira Andery pela coordenação, pelos direcionamentos, pelo apoio e fornecimento de material didático;

Ao professor Dr. Sergio Scheer (UFPR) pelas várias contribuições (via e-mail) que me apoiaram no entendimento de alguns conceitos empregados pela bibliografia sobre BIM;

A todos os professores e funcionários da UFMG, do DEMC e da Escola de Engenharia pela contribuição valiosíssima à minha formação acadêmica;

À Ivonete e ao pessoal da secretaria (DEMC) pela paciência e presteza de sempre!

Ao colega e amigo, mestre Miguel Stehling, pelo direcionamento inicial a esta pesquisa, pelo material didático e pelo apoio nas traduções e aos colegas do curso de mestrado da UFMG;

Às empresas de projeto nas quais esta pesquisa foi realizada. Agradeço a todos os funcionários pela atenção e presteza de sempre, por abrirem suas portas para esta investigação que se deu por meio de entrevistas, reuniões e estudos das documentações e dados fornecidos pelo grupo. Sem vocês este trabalho não teria sido possível. Muito obrigado a todos por doarem o precioso tempo de vocês sempre que necessitei!

A todos os professores e professoras que participaram da minha formação acadêmica até este momento, a começar pela minha irmã e primeira professora Maura Dias, passando pela Jane Garandy (Tia Janinha), Vera Lúcia, Cleonir Simões, Luciano de Zezinho, Lúcia Barros (Tia Luluxa), Ângela Leite, Renata França, Delba Barros, professores da UFMG, dentre muitos outros (as). Muito obrigado! Vocês foram, são e sempre serão importantíssimos em minha vida!

À *teacher* Gardênia pela ajuda na compilação do *abstract*;

A todos que participaram de forma direta ou indireta deste trabalho, muito obrigado!!! *Yes... We got it together!!!*

RESUMO

O presente trabalho teve como escopo o estudo da elaboração de modelos digitais e o processo de projeto de construções industriais elaborados por um grupo de empresas de Belo Horizonte, utilizando-se principalmente softwares BIM e modelagem paramétrica industrial. A pesquisa do tipo exploratória foi conduzida por meio de entrevistas não estruturadas e análises de documentações e informações fornecidas pelo grupo pesquisado. Os resultados mostram que as empresas utilizam a modelagem 3D principalmente para visualização e verificação espacial de interferências interdisciplinares, e se encontram focadas na resolução de problemas de troca de dados em função da utilização simultânea de ferramentas BIM e de modelagem paramétrica industrial. Salienta-se que essa mescla de ferramentas pode ser um indutor ao uso de novas tecnologias pelo setor AEC na medida em que a indústria da construção tem, sistematicamente, desenvolvido projetos mais complexos. A interoperabilidade entre as ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado ocorre por meio de links diretos, padrões proprietários e um caso isolado de padrão público. Percebeu-se que a preferência do grupo pela interoperabilidade de padrão proprietário ocorre em função da lentidão das normas públicas em resolver questões pendentes de sobreposições normativas e tecnológicas interindustriais; fato que requer iniciativas de harmonizações entre os diferentes setores envolvidos, principalmente entre padrões como IFC, CIS/2 e ISO-15926. Foi possível verificar que ao final da fase de modelagem, cada disciplina do grupo pesquisado possui um modelo digital tridimensional parametrizado. Contudo, a integração interdisciplinar desses modelos, que é realizada via servidor físico em rede, não carrega características paramétricas suficientes para o emprego de simulações do empreendimento como um todo. Em relação ao processo de projeção, notou-se que algumas fases (conceitual, básico e detalhado), são desenvolvidas de forma sequencial, havendo, entretanto, simultaneidade entre essas fases e as etapas de gestão de materiais e do modelo 3D. Pôde-se perceber certa colaboração interdisciplinar e um paralelismo entre atividades de uma mesma etapa de projeto. As características sequenciais de projeto podem indicar que o BIM ou a modelagem paramétrica industrial ainda não englobaram todo o processo de projeto das empresas no sentido de integração das etapas. Esta constatação pode ser reforçada pelo fato de haver utilização de softwares 2D/3D não parametrizados por algumas disciplinas nas fases de projeto conceitual e básico. Em relação à gestão de materiais e automação de projetos, as empresas adotam uma ferramenta própria, utilizada para criação de famílias de objetos paramétricos, tradução de modelos digitais entre ferramentas não interoperáveis e para compilação de listas de materiais para compra. Vale salientar que a necessidade do emprego de mão-de-obra especializada e custos elevados para o desenvolvimento de padrões próprios de interoperabilidade pode conferir exclusividade BIM às empresas que o utilizam. Nesse sentido, projetistas com recursos escassos serão induzidos a utilizarem padrões de interoperabilidade de desenvolvedores de softwares, podendo se tornar reféns dos mesmos, prática que tende a monopolizar os mercados. Nesse sentido, torna-se relevante a participação das universidades e do setor público na promoção de parcerias com o setor privado com vistas ao desenvolvimento de padrões públicos para a disseminação do conhecimento na área.

Palavras-chave: BIM; Modelagem Paramétrica Industrial; Processo de Projeto.

ABSTRACT

This study aims to investigate the elaboration of digital models and the design process of industrial buildings by a group of companies from Belo Horizonte, using mostly BIM and industrial parametric modeling software. An exploratory research was conducted through unstructured interviews, documentation and information analysis provided by the studied group. Our findings show that the companies use 3D modeling mainly for visualization and spatial interferences checking between disciplines. Presently these companies are focused on solving data exchange problems due to the simultaneous use of BIM and industrial parametric modeling tools. It is important to note that this practice can stimulate the use of new technologies by AEC sector as it systematically develops more complex designs. The interoperability between the applied tools occurs via direct links, proprietary formats and an isolated case of public format. It was noted that the group's preference for proprietary formats occurs due to the slow pace of public standards developers at solving technological overlapping issues. This fact requires harmonization initiatives between the different sectors involved, especially between standards such as IFC, CIS/2 and ISO-15926. It was possible to verify that, at the end of the modeling phase, each team of the studied group has its own three-dimensional parameterized digital model. However, the integration of these interdisciplinary models, which is performed via physical server in a network, does not carry out sufficient parametric features to simulate the whole enterprise. Regarding the design process, it was noted that some phases (conceptual, basic and detailed) are developed sequentially. There is, however, some concurrency between the design phases and the materials and 3D model management steps. We observed some interdisciplinary collaboration and parallelism between activities of a same design stage. The design sequential characteristics may indicate that the BIM or industrial parametric modeling have not yet encompassed the entire design process towards the integration of the steps. This finding can be enhanced by the use of 2D/3D non-parameterized software by some disciplines in the conceptual and basic design stages. In relation to the materials and "automation projects" management, the companies have adopted their own tool, used for creation of parametric objects families, translation of digital models between non-interoperable tools and to compile bills of materials for purchase. It is noteworthy that the need for skilled labor and high costs for developing proprietary standards, however, confer exclusivity to companies that use them. In this sense, designers with scarce resources will be induced to use interoperability standards from software developers, risking to become their hostages, a practice that tends to monopolize markets. In this sense, the participation of universities and the public sector becomes relevant in promoting partnerships with the private sector with the aim of developing open standards for the dissemination of knowledge in the area.

Keywords: *Building Information Modeling; Industrial Parametric Modeling; Design Process.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do número de artigos publicados por ano no Brasil, com referência à tecnologia BIM, no período de 2005 a 2010.	4
Figura 2 - Gráfico do número de artigos publicados por ano no exterior, com referência à tecnologia BIM, no período de 2005 a 2010.	4
Figura 3 – Discriminação do Grupo de Empresas pesquisadas	12
Figura 4 – Organograma dos profissionais do grupo pesquisado por projeto. Mão-de-obra média em um projeto de duração-padrão de 12 meses	16
Figura 5 - Esquema de funcionamento da Plataforma BIM.	28
Figura 6 – Alguns conotações comuns para os múltiplos termos BIM.	29
Figura 7 – Símbolo gráfico de representação do Estágio Pré-BIM.	36
Figura 8 - Símbolo gráfico de representação do Estágio 1 de Capacidade BIM	37
Figura 9 - Símbolo gráfico de representação do Estágio 2 de Capacidade BIM	38
Figura 10 - Símbolo gráfico de representação do Estágio 3 de Capacidade BIM	40
Figura 11 - Símbolo gráfico de representação do IPD – Integrated Project Delivery	41
Figura 12 – Passos evolutivos entre os Estágios de Capacidade BIM	42
Figura 13 - Procedimentos para planejamento da Execução do Projeto BIM	43
Figura 14 – Os Pilares da Tecnologia BIM pelo buildingSMART	46
Figura 15 – Níveis de Maturidade BIM adotados pelo BIM Task Group.	47
Figura 16 - Comparação entre diferentes formatos populares de troca de dados de acordo com a geometria suportada, seus atributos e associatividade.	60
Figura 17 – Exemplificação de Coneito de Modelo Federado	65
Figura 18 - Tela inicial do Vectorworks 2012 versão Educacional. No detalhe; a opção de importação em IFC.	81
Figura 19 - Fluxo de Atividades do Processo de Projeto do Edifício	99
Figura 20 - Modelo genérico para organização do processo de projeto de forma integrada e simultânea.	101
Figura 21 – Sala Elétrica de uma planta de mineração com e sem fechamento lateral. Projeto desenvolvido pelo grupo pesquisado utilizando-se softwares Autodesk 3D, BIM e de Modelagem Paramétrica Industrial	108
Figura 22 – MEX - Dimensional de Bloco Ecológico para utilização em alvenarias	109
Figura 23 – Especificação Técnica - Descrição longa – Cantoneira em aço carbono, laminado, de abas desiguais – Referência Catálogo Fornecedor “X”	110

Figura 24 – Imagem de projeto 3D: Utilidades (Tubulações) para Laminador de uma Planta Industrial de Siderurgia	111
Figura 25 - Ciclo de Vida do desenvolvimento de projetos pelo grupo pesquisado – Fases, duração das fases e sequência de elaboração	114
Figura 26 - Ciclo de Vida do desenvolvimento de projetos – Fases, disciplinas e duração de elaboração. Projeto-Modelo 12 meses.	117
Figura 27 - Exemplo de Fluxograma da metodologia para desenvolvimento de Projetos Multidisciplinares em 3D pelo grupo pesquisado – Destaque para maioria de ferramentas da plataforma Autodesk	120
Figura 28 – Exemplo de Fluxo de Integração entre ferramentas de diferentes plataformas	120
Figura 29 - Fluxograma de Padronização de Materiais e Especificações de Engenharia por meio do software MEX – Material Explorer e por outras aplicações	122
Figura 30 – Listas de Materiais da Disciplina de Elétrica Industrial extraídas pelo MEX: (a) lista com descritivo e imagens e (b) lista disciplinar para compra	123
Figura 31 – Modelo de Lista de Materiais extraídas do Modelo 3D via MEX: (a) tela do MEX antes da importação; (b) lista dos desenhos 3D de origem que geraram a lista e (c) lista total para compras advinda da integração dos modelos	124
Figura 32 - Especificação de material da disciplina de tubulação pelo MEX – material parametrizado enviado a diferentes ferramentas de modelagem	125
Figura 33 - Especificações geométricas de um bloco ecológico na árvore hierárquica (Base de Conhecimento) do MEX.	126
Figura 34 - Exemplo de especificação de material com Informações de geometria - a ser importada da ferramenta MEX para o Software Plant 3D (Intergraph).....	127
Figura 35 - Exemplo de especificação de material com Informações de geometria - a ser importada da ferramenta MEX para o Software PDMS (AVEVA).....	127
Figura 36 - Trecho de uma tubulação, com geometria criada no MEX, importada e gerada na ferramenta Plant 3D.	128
Figura 37 – Objetos Paramétricos (com especificações de materiais) criados no MEX e exportados para softwares de diferentes empresas.....	129
Figura 38 – Troca de dados entre o MEX e ferramentas de modelagem	130
Figura 39 - Conversão de Arquivo do Bentley AutoPlant para Aveva PDMS	131
Figura 40 - Informações internas ao MEX que podem ser adicionadas a objetos paramétricos modelados ou em fase de modelagem nos softwares de autoria BIM.	131
Figura 41 – Modelo 3D da disciplina de Tubulações (HT) criado no Plant 3D (Autodesk) e exportado via MEX3D para o PDMS (Aveva)	133
Figura 42 – Fluxograma de abertura e atendimento de chamados pelas disciplinas de projeto das empresas “A”, “C” e “D” à equipe de Automação de Projetos (Empresa “B”) por meio do portal Spiceworks	135

Figura 43 – Púlpito de Controle de Laminação a Quente. Modelo Interdisciplinar	140
Figura 44 – Alocação de Equipamento Mecânico via PDMS - tanque armazenamento de óleo para laminador de aços em geral	146
Figura 45 – Integração Modelo 3D das disciplinas de Mecânica e Tubulações via PDMS	147
Figura 46 – Tela de Modelagem do software Inventor – Detalhe individual de Equipamento Mecânico (Laminador Chapas de Aço) elaborado no formato IAM	147
Figura 47 – Vista panorâmica de modelo de instalações industriais modeladas nos softwares Inventor e Revit e integradas via Navisworks.....	149
Figura 48 – Galeria de Tubulações (<i>Pipe-Rack</i>). Modelo PDMS.....	152
Figura 49 – Modelos interdisciplinares (Tubulações, Equipamentos Mecânicos, Estrutura Metálica e em Concreto Armado) integrados via Navisworks	153
Figura 50 – Mangueira de Rede Anti-Incêndio com especificação "curta" de material, alinhada à rede de fornecedores.....	153
Figura 51 – Modelo Multidisciplinar de Edifício Industrial. Sistema Elétrico elaborado por meio do SmartPlant 3D	155
Figura 52 – Descritivo completo de uma luminária de embutir (em alumínio) para sistema de iluminação predial	156
Figura 53 – Sala Elétrica industrial modelada no Revit Architecture e dimensionada pelos softwares Robot e SAP 2000. Imagem Fotorrealística criada na ferramenta <i>Rendering</i> do Navisworks.....	158
Figura 54 – Especificação de União Soldável para Água Fria para Sistema Hidráulico Predial. Material Paramétrico Criado no MEX.	159
Figura 55 – Modelo 3D de Plataforma de Carregamento Funil (Siderurgia). Modelo elaborado e dimensionado no SAP2000 (a) e compatibilizado ao Revit Structure (b)	162
Figura 56 – Especificação de um Perfil “H” 10” em Aço Estrutural Laminado - disponível na ferramenta MEX na internet.....	163
Figura 57 – Casa de Bombas - Projeto Industrial. Pilares e Vigas em concreto armado modeladas no Revit e Calculadas no Robot. Modelo compatibilizado no Navisworks mostrando as redes de tubulações e equipamentos mecânicos	165
Figura 58 – Descrição curta de uma válvula em aço carbono; DN 4”; para utilização em sistemas prediais.....	166
Figura 59 – Descrição Longa de Tubo em PVC 4" para utilização em sistemas hidrossanitários prediais	168
Figura 60 – Descrição longa de um tubo em poliamida 12 utilizado nas disciplinas de Automação e Instrumentação e linhas hidráulicas, de ar e combustíveis.....	172
Figura 61 – Troca de Informações entre as diferentes ferramentas utilizadas pelo grupo. Modelo de projeto idealizado neste trabalho com duração de 12 meses.	175

Figura 62 – Estruturas Metálicas de Escadas e Passarelas moldadas na ferramenta SAP2000 (a) e compatibilizada ao modelo Arquitetônico no Revit Architecture (b)	177
Figura 63 – Interoperabilidade Interdisciplinar referente às disciplinas de Arquitetura e Estruturas Metálicas do Grupo Pesquisado	179
Figura 64 - Fluxo de Trabalho 3D por disciplina.....	183
Figura 65 - Proposta de Avançamento Físico-Financeiro entregue ao cliente.....	187
Figura 66 - Critério de Medições Financeiras-Chaves.....	188
Figura 67 - Entregas para o cliente a partir do modelo digital.	191

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos em cada fonte de pesquisa x Trabalhos sobre o tema BIM x Trabalhos de pesquisadores brasileiros ou radicados no Brasil – por fonte de pesquisa.	3
Tabela 2 – Discriminação dos Profissionais do Grupo Pesquisado por empresa, pela forma de agregação ao grupo pesquisado e quantidade de mão-de-obra empenhada por projeto idealizado com 12 meses de duração.....	17
Tabela 3 - Diferentes mecanismos e formatos de troca de informações BIM	66
Tabela 4 – Principais ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado, de acordo com empresas desenvolvedoras e principais aplicações no grupo.....	119
Tabela 5 – Matriz de responsabilidade para alteração de escopo de projetos contratados	186
Tabela 6 - Estipulação de pesos pelo Gerente de Projeto para diferentes tarefas de desenvolvimento do projeto.	192
Tabela 7 - Compilação da Classificação do grupo pesquisado quanto ao Conceito de Estágio de Capacidade BIM de Succar (2009)	193
Tabela 8 – Identificação do Nível ou Paradigma BIM em que o grupo pesquisado se encontra de acordo com os conceitos de Taylor e Bernstein (2009)	196
Tabela 9 – Análise do grupo pesquisado quanto ao atendimento ou adequação aos pilares do conceito de Projeto Simultâneo de Fabrício <i>et al.</i> (1998).	203

SUMÁRIO

1. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Justificativa.....	7
1.3. Objetivos.....	9
1.4. Metodologia.....	10
1.5. Estrutura do Trabalho	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1. Geração de Arquivos Digitais a partir de sistemas CAD tradicionais x BIM.....	24
2.2. Evolução da Tecnologia de Modelagem	24
2.3. Evolução Paradigmática na Utilização do BIM	29
2.4. Gerações BIM.....	32
2.5. Estágios de Capacidade BIM de uma empresa ou organização	34
2.6. BIM Project Execution Planning Guide - Building Smart (EUA)	42
2.7. BIM Protocol - BIM Task Group (Reino Unido).....	46
2.8. COBIM Senaatti - Finlândia.....	48
2.9. Implementações de Sistemas BIM	50
2.10. Diferentes abordagens para o uso BIM.....	52
2.11. O âmbito da utilização BIM (Escopo BIM).....	53
2.12. Processos e Benefícios BIM	53
2.13. Desafios na Colaboração e Formação de Equipes	54
2.14. Modelagem Paramétrica baseada em objetos	55
2.15. Interoperabilidade entre ferramentas de autoria BIM.....	57
2.16. Colaboração BIM: Trocas de Informações quanto ao formato do arquivo e quanto aos modelos digitais.....	63

2.17.	O BIM e as Construções e Empreendimentos Industriais	68
2.18.	Interoperabilidade entre Ferramentas BIM (AEC) e Ferramentas de Modelagem Paramétrica Industrial (Outras Indústrias).....	70
2.19.	Algumas Ferramentas BIM e de Modelagem Paramétrica Industrial.....	73
2.20.	Fluxo de atividades da Coordenação de Projetos na Indústria Imobiliária.....	95
2.21.	Etapas de Desenvolvimento de Projetos no Setor AEC.....	96
2.22.	Projeto Simultâneo.....	98
3.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	102
3.1.	Disciplinas e Principais Fases de Projetos do Grupo de empresas pesquisadas.....	102
3.2.	Elaboração de projetos: da Solicitação do Cliente à Entrega Final.....	111
3.3.	Ciclo de Vida do Projeto por Fases e por disciplinas	113
3.4.	Principais ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado	118
3.5.	Desenvolvimento de Projetos Multidisciplinares em 3D pelo grupo pesquisado	119
3.6.	Aplicações do MEX – Material Explorer	121
3.7.	Troca de dados entre os softwares utilizados pelo grupo pesquisado	137
3.8.	Interoperabilidade Interdisciplinar entre <i>softwares</i> das disciplinas de Arquitetura e Estruturas Metálicas no grupo pesquisado	176
3.9.	Centralização do Modelo Digital – Gestão da Modelagem Tridimensional	179
3.10.	Fluxo de desenvolvimento de modelagem 3D por disciplina	182
3.11.	Matriz de Responsabilidades Contratuais de Projeto.....	186
3.12.	Forma diferenciada de remuneração dos projetos baseada no desenvolvimento do modelo 3D	187
3.13.	Coordenação do Processo de Projetos pelo grupo pesquisado	189
3.14.	Classificação das empresas pesquisadas quanto à Capacidade BIM segundo Succar (2009) 193	
3.15.	Classificação das empresas pesquisadas quanto a Paradigmas BIM de acordo com Taylor e Bernstein (2009).....	196
3.16.	Análise do Trabalho Colaborativo das empresas pesquisadas.....	199

3.17.	Interoperabilidade entre ferramentas utilizadas pelo grupo.....	200
3.18.	Análise de atividades de projetos do grupo pesquisado quanto ao conceito de Projeto Simultâneo.....	201
3.19.	Dificuldades enfrentadas pelo grupo pesquisado.....	204
4.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	205
4.1.	A Interoperabilidade na Prática.....	205
4.2.	Gestão Preventiva de Materiais pelo Grupo Pesquisado.....	207
4.3.	Colaboração entre equipes para desenvolvimento do processo de projeto (design)	208
4.4.	Vantagens trazidas da Modelagem Paramétrica Industrial à modelagem BIM.....	209
4.5.	Utilização do BIM em projetos Industriais.....	210
4.6.	Particularidades dos Projetos Construtivos Industriais.....	210
4.7.	Gestão da Modelagem.....	211
4.8.	Necessidade de harmonização de sobreposições normativas entre AEC e outros setores 211	
4.9.	Sequência de Desenvolvimento das Fases dos Projetos pelo Grupo pesquisado.....	213
4.10.	Compartilhamento da Informação em BIM e modelagem paramétrica industrial ...	214
4.11.	Dificuldades e limitações desta pesquisa.....	215
4.12.	Sugestões para trabalhos futuros.....	216
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	218

1. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

1.1. Contextualização

Frente às recentes pesquisas científicas do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) voltadas à Tecnologia da Informação (TI) fica evidente a relevância do conceito BIM (*Building Information Modeling* - referenciado no Brasil como Modelagem da Informação da Construção - para este setor. As ferramentas de autoria BIM possuem potencial de suportarem um desenvolvimento mais colaborativo e integrado de modelos digitais 3D parametrizados de edifícios.

De acordo com Eastman *et al.* (2008) um modelo digital desenvolvido por ferramentas BIM pode suportar múltiplos e diferentes tipos de dados, contidos em um conjunto de desenhos bi e tridimensionais. Para os autores, um modelo de um edifício pode ser descrito pelo seu conteúdo - o que objeto descreve - ou por suas capacidades - que traduzem o tipo de informação requerida que ele pode suportar. Segundo eles a segunda abordagem é preferível uma vez que esta define o que se pode ou não fazer com o modelo digital; ao invés de como o banco de dados é construído - o que pode variar com cada implementação.

É intrínseco ao conceito de modelagem BIM concentrar esforços para o desenvolvimento de projetos com potencialidade de simular, o mais próximo possível, o que na realidade será construído. Com isso, as decisões mais importantes do empreendimento são tomadas na fase de projeção, diminuindo a necessidade de improvisos no canteiro de obra (EASTMAN *et al.*, 2008).

Outra característica do BIM é a modelagem paramétrica. Informações reais, convertidas em linguagem computacional, permitem que qualquer alteração feita no modelo tridimensional seja repassada como uma informação ao banco de dados, implicando em alterações automáticas de planilhas de preços e quantitativos, assim como quaisquer parâmetros ligados às características geométricas do modelo virtual.

Com a modelagem BIM problemas de interferências entre elementos construtivos são evitados na fase de concepção dos projetos. Isso pode redundar em benefícios voltados à qualidade da edificação, na racionalização do uso de materiais, na otimização dos prazos de construção, na

redução de custos e até mesmo na redução da geração de resíduos sólidos gerados pelos processos construtivos da indústria AEC.

Uma das diferenças do BIM em relação aos sistemas “CAD” tradicionais é que na tradicional forma de se projetar, os objetos, mesmo quando desenvolvidos em três dimensões (3D), são criados por meio de primitivas geométricas (arcos, linhas, círculos, polígonos, etc.) que não possuem, atreladas, informações pertinentes ao processo construtivo. A modelagem BIM, por sua vez, é orientada a objetos parametrizados, ou seja, um banco de dados, com todas as informações pertinentes ao empreendimento, é atrelado ao modelo digital, melhorando a informação necessária ao processo construtivo. Caso alguma mudança seja feita no modelo digital 3D, essa alteração é repassada automaticamente como uma informação ao banco de dados, implicando em alteração na geometria do modelo, de planilhas de preços e quantitativos, assim como em quaisquer parâmetros ligados ao modelo virtual da edificação ou construção.

Implementações de novas tecnologias voltadas à projeção e execução de edifícios, requerem, contudo, uma revisão de todo o processo de trabalho; tanto no que diz respeito ao suporte advindo das tecnologias da informação (TIs) quanto no que se refere à colaboração entre as equipes envolvidas na concepção, construção e manutenção do empreendimento. Se por um lado as empresas desenvolvedoras de *softwares* precisam produzir ferramentas mais robustas de suporte à modelagem paramétrica, por outro lado equipes de projetistas precisam atuar de forma colaborativa, em busca de um processo de projeto simultâneo e não mais fragmentado e sequencial.

A implementação da tecnologia BIM (mudança na forma de trabalho das equipes e no uso de ferramentas) exige, além da capacitação em diferentes âmbitos, uma transformação gradual da forma de trabalho e de comportamento, começando pelas empresas fabricantes e de implantação dos *softwares*, passando pelas equipes de projeto, execução e manutenção, englobando todo o setor AEC.

A difusão dos estudos científicos em BIM no Brasil é citada por Checcucci *et al.* (2011). Neste estudo os autores buscaram construir um panorama desta difusão por meio dos seguintes critérios: identificação dos núcleos de pesquisas sobre o tema BIM; identificação dos pesquisadores e suas localizações; enfoques das pesquisas realizadas; forma de abordagem do tema pelos eventos científicos nacionais e a evolução desta difusão entre os anos de 2005 e 2010. A partir das fontes de pesquisas nacionais, os autores identificaram e classificaram trabalhos

científicos que continham no título, no resumo ou nas palavras-chaves, pelo menos um termo ou expressão que fizessem referência ao tema.

Foi constatado, então, que a difusão do tema BIM no Brasil, apesar de crescente nos anos de 2007 e 2009, é ainda muito incipiente, fato que justifica esforços para a implementação da tecnologia no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção – AEC (CHECCUCCI *et al.*, 2011).

A Tabela 1 ilustra a difusão do estudo do BIM no Brasil no ano de 2011, por meio de pesquisadores por fonte de pesquisa.

Tabela 1 - Trabalhos em cada fonte de pesquisa x Trabalhos sobre o tema BIM x Trabalhos de pesquisadores brasileiros ou radicados no Brasil – por fonte de pesquisa.

Fonte de Pesquisa	Número de trabalhos	Trabalhos sobre o tema	Trabalhos de pesquisadores brasileiros ou radicados no Brasil
Eventos			
GRAPHICA (2005 / 2007 / 2009)	443	4	3
SiGraDi (2005 a 2010)	664	25	12
PROJETAR (2005 / 2007 / 2009)	451	0	0
TIC (2005 / 2007 / 2009)	78	8	8
WBGPPCE (2005, 2007, 2008, 2009)	281	9	9
Revistas			
PARC (v. 1, 2, 3, 4 e 5)	30	0	0
Revista AC	-	0	0
Gestão & Tecnologia de Projetos	58	6	6
Total de artigos	-	52	38
Portal de teses da CAPES e Portal Domínio Público		10 dissertações / 1 tese	10 dissertações / 1 tese

Fonte: CHECCUCCI *et al.* (2011)

Pelo gráfico da Figura 1, Checcucci *et al.* (2011) apresentam a evolução da difusão da pesquisa sobre o tema no Brasil, de acordo com o universo de fontes brasileiras.

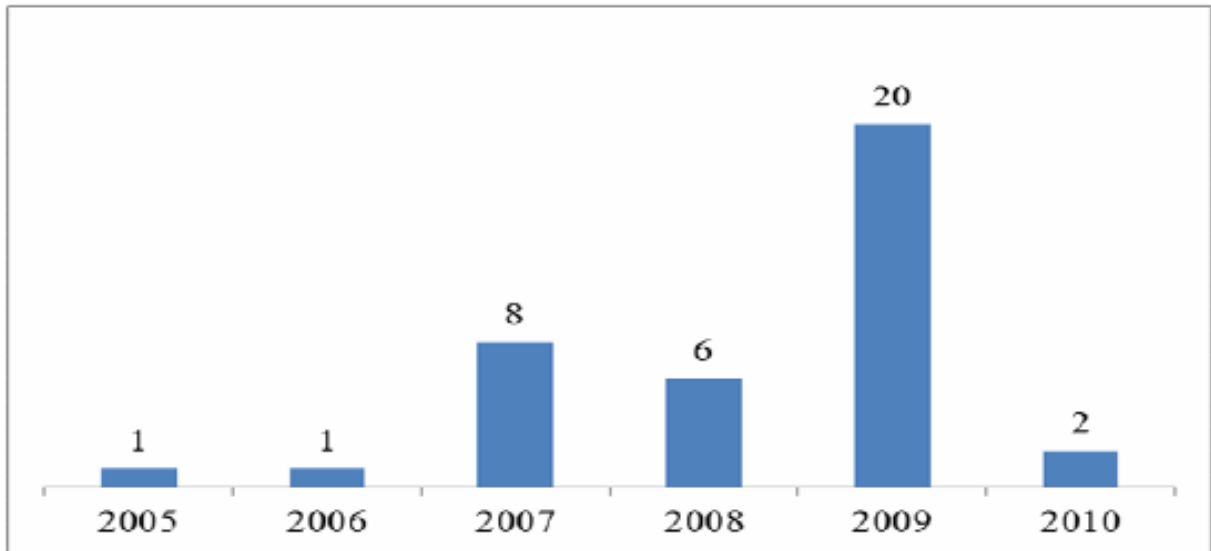


Figura 1 - Gráfico do número de artigos publicados por ano no Brasil, com referência à tecnologia BIM, no período de 2005 a 2010.

Fonte: Checcucci *et al.* (2011)

No cenário internacional - no mesmo período pesquisado no Brasil - Checcucci *et al.* (2011) concluíram uma difusão crescente da tecnologia BIM nos anos de 2006, 2007, 2009 e 2010; conforme pode ser verificado por meio do gráfico da Figura 2.

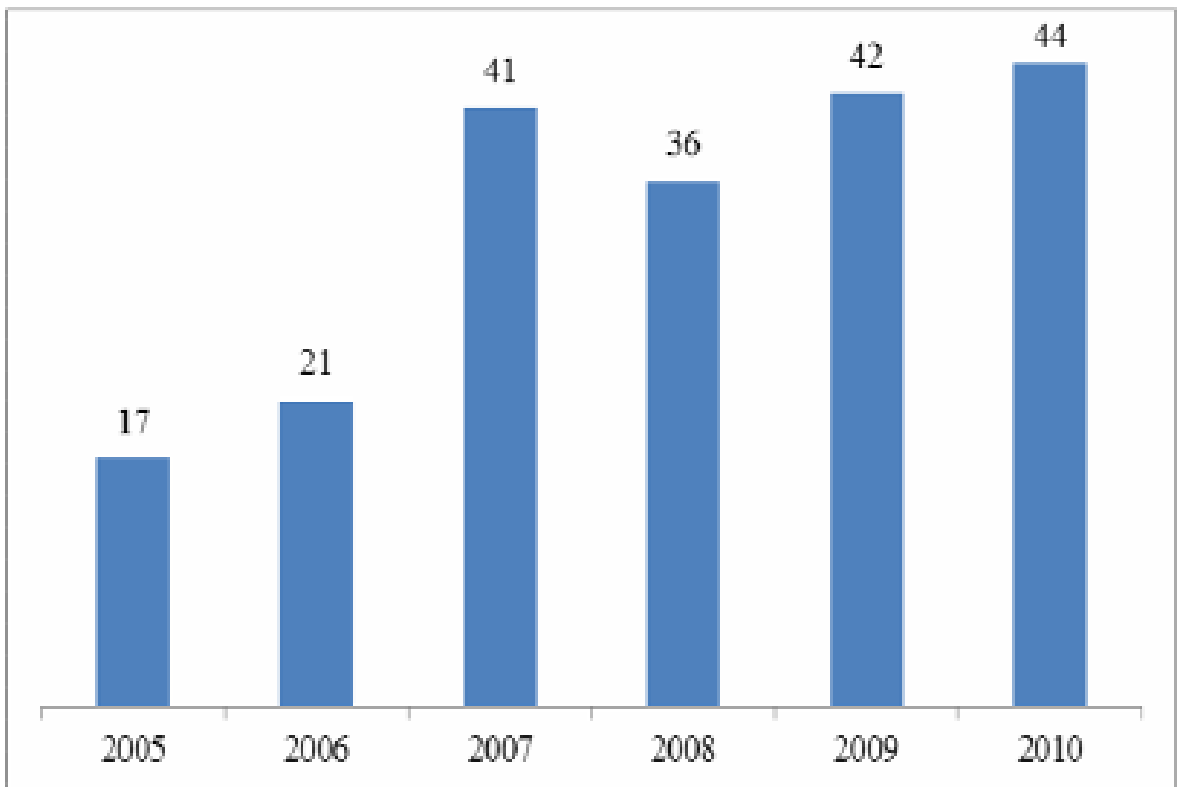


Figura 2 - Gráfico do número de artigos publicados por ano no exterior, com referência à tecnologia BIM, no período de 2005 a 2010.

Fonte: Checcucci *et al.* (2011)

Apesar da relevância da tecnologia BIM ao setor a pesquisa de Checcucci *et al.* (2011), mostra que a difusão dos estudos relativos ao BIM, no Brasil, são ainda insuficientes. Essa questão se agrava ainda mais quando se trata de elaboração de projetos industriais, que, por ora, conta com o suporte do setor AEC para construções de suas edificações. O setor AEC, contudo, conta com poucas pesquisas voltadas ao tema.

Conforme citado por Manzione (2013b), em se tratando de novas tecnologias de TI, a indústria da construção civil ainda engatinha quando comparada a setores mais avançados no tema, como a indústria automobilística.

Stehling (2012), em uma pesquisa de mestrado que estudou a aplicação da tecnologia BIM em empresas de Belo Horizonte, constatou que mais da metade das empresas desenvolvia projetos industriais. Na mesma pesquisa o autor verificou que, em se tratando da tecnologia BIM as empresas que elaboravam projetos para o setor industrial estavam, tecnologicamente, à frente daquelas que desenvolviam projetos de edifícios habitacionais.

A partir dessa última constatação de Stehling (2012) selecionou-se um grupo de empresas englobadas pela referida pesquisa com considerável potencial na implantação de ferramentas BIM.

A presente investigação se insere no contexto de Pesquisa Exploratória ao passo que envolveu um levantamento bibliográfico sobre o tema, realização de entrevistas com profissionais com experiências práticas com o problema abordado e na medida em que buscou realizar uma análise dos dados e resultados obtidos com vistas à estimulação da compreensão dos mesmos. De acordo com Gil (2002) a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema a fim de torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. Além disso, objetiva o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições, valendo-se de um planejamento bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

As fontes da presente pesquisa foram aquelas comumente adotadas na área de Gestão de Projetos, ou seja, fontes orais (entrevistas), fontes documentais, observações, anotações e reuniões, que permitiram analisar o processo de projeto desenvolvido pelas empresas pesquisadas e as tecnologias da informação adotadas no desenvolvimento dos projetos.

As entrevistas – presenciais - foram realizadas do tipo informal (entrevista não estruturada). Esse tipo de entrevista foi adotado para que a informação repassada pelo profissional entrevistado não ficasse “engessada” a estruturas de questionários pré-estabelecidos. De acordo com Robson (2002) *apud* Antunes e Scheer (2014) a entrevista não estruturada propicia a obtenção de opiniões “*espontâneas e naturais*” por parte do entrevistado, em determinada situação.

No desenrolar da presente pesquisa, notou-se que o grupo pesquisado, ao elaborar projetos industriais, conta com ferramentas e equipes de diferentes indústrias: AEC, Óleo e Gás, Siderurgia, Metalurgia, Mineração, Indústrias Manufatureiras, etc. Por essa razão as equipes de projetos, em relação à modelagem "inteligente", fazem uso não apenas de ferramentas de autoria BIM, mas também de *softwares* de suporte a criação de modelos orientados a objetos em projetos que englobam montagem e alocação de equipamentos mecânicos, tubulações, automação e instrumentação industrial, etc.

O grupo pesquisado neste trabalho engloba diferentes equipes de projeto em disciplinas como Processo Industrial, Mecânica, Tubulações e Utilidades, Elétrica Industrial, Arquitetura, Estruturas Metálicas, Estruturas em Concreto Armado e Protendido, Hidrossanitário, Drenagem Pluvial e Pavimentação, Automação e Instrumentação Industrial, Terraplenagem, etc. Para cada disciplina o grupo adota diferentes ferramentas de modelagem (2D, 3D e modelagem paramétrica).

Como os projetos industriais nas áreas de Petróleo, Siderurgia e Mineração envolvem muitas especialidades de projeto e equipamentos de custo elevado, é de se esperar que essas indústrias sejam rigorosas quanto à representatividade dos modelos digitais, que envolvem uma gama de sistemas computacionais muitas vezes desconhecidos pela Construção Civil. A partir dessa hipótese, espera-se que metodologias adotadas em projetos industriais, assim como sistemas computacionais avançados possam trazer contribuições para o setor AEC, não somente pela diversidade tecnológica, mas também pelas possibilidades de interoperabilidade requerida associada à gama de sistemas utilizados pela indústria. Nessa direção, por exemplo, investigar a pré-montagem que ocorre na indústria e suas relações com a modelagem paramétrica tridimensional pode trazer vantagens para a Modelagem da Informação da Construção (BIM).

A presente pesquisa buscou, também, verificar a forma com que o grupo de empresas pesquisadas desenvolve o trabalho colaborativo entre os diferentes agentes que compõem as equipes de projeto (design).

Buscou-se aqui fazer-se o estudo da forma como as empresas têm resolvido a questão da interoperabilidade entre as diferentes ferramentas de modelagem paramétrica. Como o grupo pesquisado adota *softwares* de diferentes indústrias para composição de um modelo único, era esperado que a maioria das trocas entre ferramentas ocorresse em formatos de padrão proprietário, dada a complexidade de se encontrarem soluções abertas que deem suporte à modelagem integrada voltada a diferentes indústrias.

Este trabalho ainda analisou o processo de projeto do grupo pesquisado, tomando como base os princípios de Projeto Simultâneo de Fabrício *et al* (1998), focando-se, principalmente, na sequência de desenvolvimento de projetos nas fases conceitual, básico e detalhado. Tendo-se em mente a importância do trabalho simultâneo entre fases de desenvolvimento de um projeto tão complexo, era esperado que, mesmo em etapas não simultâneas, a subdivisão das fases de projeto em tarefas ou disciplinas, mostrasse alguma simultaneidade no trabalho desenvolvido pelas diferentes especialidades, em uma mesma fase de projeto. Outra hipótese levantada foi a possibilidade da ferramenta de gestão dos materiais (intitulada MEX – *Material Explorer*), criada pela empresa "B" proporcionar ao grupo um ambiente colaborativo de trabalho quanto à padronização de materiais.

1.2. Justificativa

HÄKKINEN (2007) salienta que os diversos estudos científicos da área da indústria da construção civil têm apontado para a crescente demanda por processos mais racionais e de melhor desempenho no setor. Aumenta de forma rápida o volume de informações necessárias para a geração de projetos do produto dentro desse contexto.

O CAD 2D, ou prancheta eletrônica, que em tese seria uma evolução da prancheta, não traz tantos benefícios em relação à antiga forma de projetar. A analogia do CAD com a prancheta traz à tona o aspecto mais frágil dos CAD tradicionais: apesar de eliminarem tarefas repetitivas no ato do desenho, seu suporte oferecido ao processo do projeto está pouco além de uma prancheta melhorada, sem reformulação do processo de produção, ou seja, sem transmissão de informação por intermédio do desenho. A modelagem do CAD geométrico é feita por meio de primitivas geométricas, ou seja, linhas, pontos, arcos, etc., apresentando, dessa forma, informações fragmentadas do projeto. Por isso, embora tenha se tornado padrão para a indústria da construção, o CAD geométrico sempre foi um obstáculo para a comunicação eficiente entre os profissionais do setor AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção (AYRES; SCHEER, 2007).

Embora a modelagem via CAD tradicional seja capaz de representar, por meio de primitivas geométricas, o empreendimento a ser construído, o computador não é capaz de identificar as partes que compõem o desenho com elemento construtivo. Esse modelo de projeto, dessa forma, não possui uma linguagem computacional que dê suporte à informação da construção no processo de projeto.

Para Ayres e Scheer (2007) a utilização do CAD 3D aumenta de forma considerável a quantidade de informações ligadas ao projeto. Ocorre, entretanto, que essas informações são disponibilizadas às especialidades de forma fragmentada e, por isso, não trazem muitos benefícios no que se refere à informação da construção, fato esse que não diferencia em muito o CAD 3D do geométrico (CAD 2D).

Por sua vez, o conceito BIM - *Building Information Modeling* – se apresenta como um sistema de gestão de informações; que atrela um banco de dados à modelagem do empreendimento, melhorando consideravelmente o processo de projeto, o que ficava prejudicado quando da modelagem por meio dos sistemas CAD tradicionais (AYRES; SCHEER, 2007).

Embora o conceito BIM possua, em sua essência, capacidade de revolucionar o ciclo de vida dos processos de projeto, Checcucci *et al.* (2011) constataram que o crescente número de pesquisas no Brasil voltadas ao tema - apesar de considerável – mostra-se ainda incipiente.

Se por um lado existe um volume considerável de pesquisas acadêmicas e publicações de trabalhos voltados à modelagem informacional de edifícios habitacionais, por outro lado poucas investigações científicas têm sido desenvolvidas com foco na modelagem paramétrica de modelos de edifícios industriais. Em contrapartida Stehling (2012) verificou que, em Belo Horizonte, empresas de elaboração de projetos voltados ao setor industrial estavam, tecnologicamente, à frente daquelas que projetam edifícios habitacionais.

Stehling (2012) constatou que, enquanto empresas de elaboração de projetos residenciais e comerciais se encontram praticamente em estágio inicial de implementação da tecnologia BIM - marcado pela substituição da elaboração de projetos 2D por desenvolvimento de projetos tridimensionais parametrizados – empresas desenvolvedoras de projetos industriais atuavam no sentido de migrar desse estágio inicial para um nível onde deixa-se de focar a modelagem paramétrica e a visualização, e se volta à interoperabilidade entre as diferentes ferramentas utilizadas e à colaboração entre as disciplinas de projeto.

Pelo exposto neste trabalho, considerou-se bastante oportuno o fato de se desenvolverem pesquisas voltadas a essas empresas de desenvolvimento de projetos industriais; com aplicação da tecnologia BIM e de modelagem paramétrica industrial. Partindo das constatações de Stehling (2012), iniciou-se esta pesquisa sob a expectativa de que metodologias adotadas por essas empresas, assim como os sistemas computacionais avançados utilizados, possam trazer contribuições para o setor da construção, tanto pela diversidade tecnológica como pelas possibilidades de interoperabilidade requerida associada à gama de ferramentas de modelagem aplicadas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Este trabalho, de forma geral, pretendeu analisar a aplicação do conceito BIM ou da modelagem paramétrica industrial na elaboração de modelos de empreendimentos industriais desenvolvidos por um grupo formado por quatro empresas na cidade de Belo Horizonte. Buscou-se também estudar a sequência do desenvolvimento de projetos (*design*) elaborados pelo grupo pesquisado. No intuito de se alcançarem os objetivos principais desta pesquisa, traçaram-se os quatro objetivos específicos descritos na sequência.

1.3.2. Análise da evolução da prática de utilização BIM pelo grupo pesquisado (paradigmas BIM)

Procurou-se identificar o nível de utilização da tecnologia BIM pelo grupo pesquisado. Para verificação dessa evolução utilizou-se conceito de paradigmas BIM, citados Taylor e Bernstein (2009). Os autores mostram que à medida que empresas desenvolvem projetos utilizando-se a tecnologia BIM, as companhias tendem a trilhar uma trajetória ascendente, passando por quatro paradigmas: visualização, coordenação, análise e integração da cadeia de suprimentos. Segundo os autores as empresas tendem a evoluir em uma trajetória onde ficam cada vez mais dispostas a compartilharem arquivos eletrônicos BIM na rede interorganizacional de projetos.

1.3.3. Análise do Estágio de Capacidade BIM em que o grupo desenvolve os projetos

Foi realizada análise do Estágio BIM em que o grupo pesquisado se enquadraria. Esta análise foi suportada pelo conceito de **Estágios de Capacidade BIM**, referenciado por Succar (2009a) como a habilidade para executar determinada tarefa, nas prerrogativas da tecnologia BIM.

Não foi escopo deste trabalho a análise *Maturidade BIM*, conceituada pelo próprio Succar (2009a) como o nível de excelência com que esta tarefa, serviço ou produto são realizados.

1.3.4. Estudo das trocas de dados entre *softwares* utilizados pelo grupo no processo de projeto

A análise da troca de informação entre as diferentes ferramentas de elaboração de projetos, utilizadas pelo grupo, foi também realizada. Para isso compilou-se um fluxograma (fases de projeto *versus* disciplinas de projeto). Neste fluxograma são mostrados os *softwares* utilizados em cada fase de projeto pelas diferentes equipes que compõem o grupo pesquisado e a linguagem (ou formato) utilizados para as trocas de informações entre eles.

Este trabalho procurou também estudar a ferramenta de gestão de materiais (MEX – Material Explorer; criada internamente ao próprio grupo). A ferramenta MEX é utilizada pelo grupo pesquisado para padronização de materiais, criação, gerenciamento e envio de famílias de objetos paramétricos, com informações geométricas e de especificações de materiais às ferramentas de modelagem paramétrica (BIM e industrial) e ainda para compilação de listas de materiais para compra ao final da modelagem.

1.3.5. Estudo das fases de projeto adotadas pelo grupo e a sequência em que ocorrem

Buscou-se, finalmente, analisar a sequência em que as fases de elaboração de projetos do grupo pesquisado acontecem, com embasamento no conceito de Projeto Simultâneo de Fabrício *et al.* (1998) e Fabrício (2002).

Para esta verificação idealizou-se, junto ao grupo pesquisado, um projeto-padrão, com duração de 12 meses. Por meio de uma planilha procurou-se estudar o processo de projeto (design) em forma de cronograma para tornar possível a visualização do desenvolvimento temporal de cada etapa do projeto.

1.4. Metodologia

1.4.1. Seleção do grupo de empresas da pesquisa

Stehling (2012) estudou a aplicação da tecnologia BIM por empresas projetistas de Belo Horizonte e região metropolitana e constatou que mais de 50% delas desenvolvia projetos

industriais. Como supracitado, o autor constatou que as empresas que elaboravam projetos para o setor industrial estavam tecnologicamente à frente daquelas que desenvolviam projetos habitacionais e/ou comerciais.

A partir desta última constatação de Stehling (2012) selecionou-se um grupo formado por quatro empresas que foram englobadas pelo trabalho do autor e que possuíam um considerável potencial na implantação de ferramentas BIM.

Vale destacar que a facilidade de acesso às metodologias desenvolvidas e aplicadas pelo grupo de empresas no desenvolvimento e gerenciamento de projetos foi também um fator importante na escolha do grupo em questão. Contudo, a coleta de dados não foi uma tarefa simples, uma vez que a investigação requereu interações sucessivas com o grupo pesquisado para se conhecer com profundidade os processos de projeto e suas relações projetuais e tecnológicas.

Nesse contexto, pôde-se notar que o grupo de empresas trabalhava com uma considerável gama de *softwares* de autoria BIM e de modelagem paramétrica industrial; além de uma ferramenta de gestão de materiais desenvolvida pelas próprias empresas. Além disso, notou-se que os projetos industriais eram elaborados por equipes multidisciplinares de Engenharia, compreendendo profissionais da Construção Civil e de outras indústrias.

O grupo pesquisado é formado pelas seguintes companhias:

- Empresa “A”: escritório de concepção, desenvolvimento e gestão de projetos de Engenharia e Arquitetura;
- Empresa “B”: empresa de Automação de Projetos e Engenharia de Materiais;
- Empresa “C”: escritório de projetos de Engenharia de Estruturas Metálicas;
- Empresa “D”: escritório de desenvolvimento de projetos de Estruturas em Concreto.

O quadro da Figura 3 classifica as empresas pesquisadas de acordo com suas principais características de atuação no mercado de trabalho.

COMPANHIA	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL
Empresa "A"	Escritório de concepção, desenvolvimento e gestão de Projetos de Engenharia e Arquitetura
Empresa "B"	Escritório de Automação de Projetos e Engenharia de Materiais
Empresa "C"	Escritório de Projetos de Engenharia de Estruturas Metálicas
Empresa "D"	Escritório de elaboração de Projetos de Estruturas em Concreto

Figura 3 – Discriminação do Grupo de Empresas pesquisadas

A empresa intitulada, neste trabalho, como empresa “A” foi na década de 1970. Hoje conta com sede em Belo Horizonte e filiais em outras cidades do país, contando com um quadro de aproximadamente mil profissionais. De acordo com o website da própria empresa “A” a companhia atua, principalmente, nos segmentos de Gerenciamento de empreendimentos; *Laser Scanning*: tecnologia de reprodução de imagens 3D por nuvens de pontos; Projetos Industriais Multidisciplinares; Elaboração de projetos em regime *Engineering, Procurement and Construction*; *Engineering, Procurement, Construction and Management*, *Turn key* e Aliança.

Os principais segmentos de atuação no mercado de trabalho, pela Empresa “A” são Energia Elétrica – Projetos de Subestações Industriais e de Transmissão; linhas de transmissão; ampliação e implantação de novas usinas hidrelétricas e termoelétricas; Infraestrutura Urbana e Rodoviária – projetos de túneis, pontes rodoviárias e ferroviárias; Metalurgia – projetos industriais; Mineração – projetos de implantação de plantas industriais; Óleo e Gás – projetos industriais; Papel e celulose; Portos e estaleiros; Siderurgia; etc.

A empresa possui as seguintes equipes multidisciplinares, em regime de contratação fixa, para desenvolvimento de projetos: Arquitetura; Estruturas; Mecânica; Tubulações e Instalações Elétricas. As demais disciplinas podem contar com contratações por demanda de projeto ou em regime PJ (Pessoa Jurídica). Ao passo que uma empresa é subcontratada pela Empresa “A”, seus funcionários passam a utilizar um e-mail com o domínio do tipo *@empresa“a”partner.com*.

A companhia intitulada neste trabalho como Empresa “B” foi fundada em 2011 com o intuito de atender as demandas de mercado quanto a Automação de Projetos. A empresa busca atender às demandas do mercado em relação às disciplinas de Tubulação, Elétrica, Arquitetura, Civil

(Concreto e Metálica) e Mecânica. A companhia adota soluções variadas em relação às plataformas de softwares disponíveis no mercado como Aveva, Autodesk, Bentley, PTC, Intergraph, Siemens, etc. De acordo com informações da própria empresa “B”, um dos objetivos principais da empresa é proporcionar ao mercado possibilidades de evolução na modelagem, no sentido de migrar dos trabalhos tradicionais de Engenharia (modelagem 2D) para ambientes de projetos industriais, com modelagem tridimensional e integrada. Segundo informações da própria companhia, a empresa “B” busca, na integração entre ferramentas e processos, a evolução na aplicabilidade do conceito BIM, introduzindo nos modelos 3D informações para construção, ainda nas etapas de projeto básico e detalhado.

A empresa “B” oferece ao mercado a ferramenta MEX – Material Explorer. De acordo com informações da empresa “B”, este *software*, desenvolvida na linguagem VB.NET (*Visual Basic*), é uma solução para padronização de materiais de Engenharia e montagem de especificações técnicas de projeto, em um ambiente único, centralizado, atualizado e integrado. Esse ambiente de trabalho fornece informações técnicas (especificações de material e dados geométricos) a ferramentas de modelagem 3D e controla as extrações de listas de materiais, suas revisões e quantitativos totais para listas de compra com descritivos detalhados. A Empresa “B” conta com uma equipe dedicada à gestão de materiais; mantém a padronização de materiais com atualizações diárias da massa de informações técnicas entre o MEX e as principais empresas da cadeia de suprimentos de materiais.

Segundo informações do consultor técnico da empresa, em parceria com os fornecedores de materiais, a Empresa “B” busca promover a disseminação desta padronização de materiais em seu portal de referência de materiais de Engenharia, chamado pelo grupo de Webmex. Nesta parceria entre empresa e fabricantes, os dados de catálogos são validados. A partir do banco de dados da ferramenta (árvore) são geradas listas detalhadas de materiais para cada projeto específico, buscando-se aumentar o grau de confiabilidade para mitigar erros no processo de aquisição de materiais.

A Empresa “B” conta ainda com uma equipe multidisciplinar de apoio à modelagem paramétrica. Para cada disciplina de projeto do grupo pesquisado, existe um apoio específico da equipe de automação de projetos. Os líderes destas equipes são chamados, pelo grupo, de “Administradores 3D”.

De acordo com a diretoria e a gerência da Empresa “B”, seu cliente principal é a Empresa “A”, apesar de ter outros clientes.

Para o consultor Técnico da Empresa “B”, a disciplina de Automação de projetos industriais tem um objetivo diferenciado daquele da Automação de processos industriais. No segundo caso a ideia é simplesmente automatizar as etapas do processo produtivo. No primeiro caso a ideia é *“fazer com que os engenheiros de concepção façam exatamente isso (concepção) e apenas isso”*. Dessa forma, segundo o consultor, *“a execução e a projeção ficam a cargo de outros profissionais, enquanto os engenheiros “pensantes” podem se dedicar apenas ao raciocínio e desenvolvimento de novas ideias”*.

A terceira companhia deste grupo (Empresa “C”) é especializada em projetos de estruturas metálicas e estruturas mistas (aço e concreto) e presta serviços a diferentes clientes. A Engenharia desta companhia desenvolve projetos estruturais desde a fase da concepção, passando por análise e dimensionamento, até o projeto detalhado, ou para produção. A empresa “A” contrata a mão de obra desta empresa por demanda de projeto. No grupo pesquisado, o número de funcionários da Empresa “C”, por projeto, varia entre 12 e 20 funcionários. As ferramentas utilizadas por esses profissionais nos projetos do grupo pesquisado são de gestão e de propriedade da contratante. O contrato entre as partes é restrito ao seu *know-how* e serviços de Engenharia. Durante o desenvolvimento dos projetos em questão, os funcionários da Empresa “C” envolvidos na contratação, permanecem em regime *full time* no mesmo prédio de sua contratante, inclusive com e-mails do tipo *@empresa”a”partner*.

A Empresa “D” atua no mercado de projetos de estruturas em concreto armado e pretendido para diferentes contratantes. Seu vínculo com a companhia “A” ocorre também por demanda de projeto. A empresa “C” também faz uso dos *softwares* da contratante para elaboração dos projetos. Seus profissionais envolvidos em contrato e selecionados para trabalhar no grupo pesquisado, são também enviados em regime *full time* às dependências da contratante (empresa “A”) durante todo o período do contrato ou duração do projeto em questão, seguindo sempre a lógica de demandas de projeto. O número de profissionais de “D” dedicados aos projetos varia, em média, entre 28 e 37.

1.4.2. Quadro de profissionais por empresa e por disciplina em um dado projeto

O organograma da Figura 4 apresenta o quadro técnico de profissionais das principais disciplinas que compõem o grupo pesquisado. O quadro foi montado de acordo com o número médio de

profissionais por disciplina de projeto, dedicados a um dado projeto de Engenharia, tomando-se sempre como padrão um projeto modelo com duração de 12 meses, idealizado junto ao grupo pesquisado por questões metodológicas deste trabalho. As cores verde, azul, amarelo e “marrom”, de preenchimento das células foram utilizadas para identificação dos profissionais que pertencem às empresas “A”, “B”, “C” e “D”, respectivamente, formando um só grupo de trabalho.

Quanto às demais disciplinas, não foram contempladas neste organograma, não houve acesso, por parte dos pesquisadores, às informações do quadro de profissionais dedicados a um dado projeto. Essas equipes são: Hidrossanitário, Drenagem/Pavimentação e Terraplenagem.

1.4.3. Composição das equipes de projeto do grupo pesquisado por meio de contratos

A equipe de desenvolvimento de projetos do grupo pesquisado é formada basicamente pelos seguintes profissionais: Gerente do Projeto, Coordenadores das Disciplinas, Engenheiros coordenadores do Projeto na Disciplina, Engenheiros Especialistas, Projetistas, Desenhistas, Arquitetos, Gerente da Disciplina de Automação de Projetos (AP); Consultor Técnico em Automação de Projetos e Engenharia de Materiais, Coordenador da Disciplina de Automação de Projetos (AP), Engenheiros e/ou Analistas de Materiais para disciplina AP e Administradores de Sistema 3D (AP). A nomenclatura utilizada aqui se refere àquela utilizada pelo grupo pesquisado para se referir aos profissionais das equipes.

Na Tabela 2 está descrita a gama de profissionais que compõem a equipe de projetos do grupo pesquisado, de acordo com a empresa a que pertencem, com a forma de agregação ao grupo e a quantidade média de profissionais dedicados a um projeto-modelo; idealizado com 12 meses de duração.

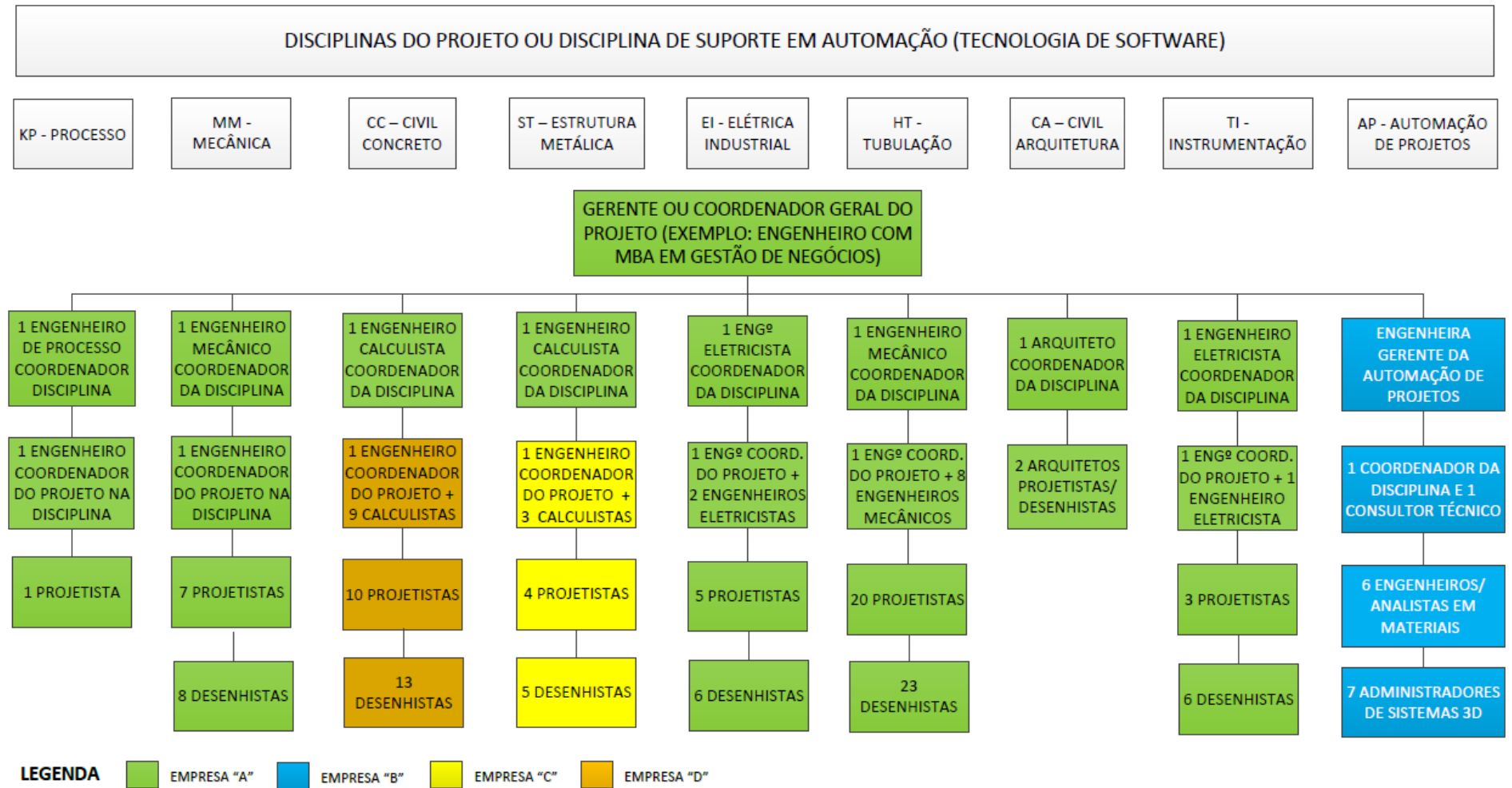


Figura 4 – Organograma dos profissionais do grupo pesquisado por projeto. Mão-de-obra média em um projeto de duração-padrão de 12 meses

Fonte: Desenvolvido pelo autor deste trabalho

Tabela 2 – Discriminação dos Profissionais do Grupo Pesquisado por empresa, pela forma de agregação ao grupo pesquisado e quantidade de mão-de-obra empenhada por projeto idealizado com 12 meses de duração

Profissional	Empresa	Forma de Contratação	Quantidade média de profissionais por Projeto - Padrão de 12 meses
Gerente (ou Coordenador Geral) do Projeto	Empresa "A"	Contratação Fixa	1
Coordenadores de Disciplinas de Projeto (Eng ^o em geral)	Empresa "A"	Contratação Fixa	8-10
Coordenadores dos Projetos em cada disciplina (Eng ^o em geral)	Empresa "A"	Contratação Fixa	5-7
Demais Engenheiros nas Disciplinas (Exceto Estruturas)	Empresa "A"	Contratação Fixa	11-12
Projetistas em Geral (Exceto Estruturas)	Empresa "A"	Contratação Fixa	36-40
Desenhistas em Geral (Exceto Estruturas)	Empresa "A"	Contratação Fixa	43-45
Arquiteto	Empresa "A"	Contratação Fixa	2-3
Gerente da Disciplina de Automação de Projetos	Empresa "B"	Parceria / Demanda por Projeto	1
Coordenador da Disciplina de Automação de Projetos	Empresa "B"	Parceria / Demanda por Projeto	1
Consultor Técnico em AP e Engenharia de Materiais	Empresa "B"	Parceria / Demanda por Projeto	1
Engenheiros / Analistas em Materiais	Empresa "B"	Parceria / Demanda por Projeto	6-7
Administradores de Sistema 3D	Empresa "B"	Parceria / Demanda por Projeto	7 - 9
Engenheiro Coordenador do Projeto em Estruturas Metálicas	Empresa "C"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	1
Engenheiro Calculistas em Estruturas Metálicas	Empresa "C"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	3-4
Projetistas em Estrutura Metálica	Empresa "C"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	4-5
Desenhistas em Estrutura Metálica	Empresa "C"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	5-7
Engenheiro Coordenador do Projeto em Concreto	Empresa "D"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	1
Engenheiros Calculistas em Concreto Armado / Protendido	Empresa "D"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	9-10
Projetistas em Concreto Armado / Protendido	Empresa "D"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	10-12
Desenhistas em Concreto Armado/Protendido	Empresa "D"	Contrato com Empresa "A" em Regime PJ	13-14

Fonte: Desenvolvido pelo autor deste trabalho

Pode-se notar, pela Tabela 2, que as equipes do grupo pesquisado são formadas por profissionais das empresas "A" (que gerencia o contrato com o cliente final); da Empresa "B" (parceira da "A" em projetos demandados pelo mercado); e profissionais de companhias externas ao grupo, contratadas pela empresa "A" para comporem o grupo. Este último caso engloba a situação das empresas "C" e "D".

O gerente do projeto supervisiona os líderes das disciplinas. Esses líderes podem, no entanto, trabalhar em dois ou mais projetos ao mesmo tempo e assim estarem sob a supervisão de mais de um gerente de projeto. Os coordenadores das disciplinas (especialistas), contudo, precisam se dedicar exclusivamente a um dado projeto.

1.4.4. Fontes da Pesquisa

As fontes da presente pesquisa foram aquelas comumente adotadas na área de Gestão de Projetos, ou seja, fontes orais (entrevistas), fontes documentais, observações, anotações e reuniões, que permitiram analisar o processo de projeto desenvolvido pelas empresas pesquisadas e as tecnologias da informação adotadas ao longo dos projetos. No desenrolar da presente pesquisa, notou-se que o grupo pesquisado, ao elaborar projetos industriais, conta com ferramentas e equipes de diferentes indústrias: AEC, óleo e gás, Siderurgia, Metalurgia, Mineração, Indústrias Manufatureiras, etc. Por essa razão as equipes de projetos, em relação à modelagem paramétrica, fazem uso não apenas de ferramentas de autoria BIM, mas também de *softwares* de suporte a criação de modelos orientados a objetos em projetos que englobam montagem e alocação de equipamentos mecânicos, tubulações, automação e instrumentação industrial, etc.

Os agentes que compõem as equipes do grupo pesquisado, que foram envolvidos nesta pesquisa por meio de entrevistas e reuniões estão listados a seguir:

- Coordenador de um dado Projeto;
- Engenheiro Mecânico coordenador da Disciplina Mecânica (MM);
- Engenheiro Mecânico coordenador de um dado Projeto na disciplina Mecânica (MM);
- Engenheiro Civil coordenador da Disciplina de Concreto Armado / Protendido (CC);
- Engenheiro Civil coordenador de dado Projeto na disciplina de Estruturas Metálicas (ST);
- Engenheiro Eletricista coordenador da Disciplina Elétrica Industrial (EI);
- Engenheiro Mecânico coordenador da Disciplina de Tubulações (HT);

- Arquiteta Projetista/Desenhista da Disciplina de Arquitetura (CA);
- Projetista da Disciplina de Automação e Instrumentação Industrial (TI);
- Gerente da Disciplina de Automação de Projetos (AP);
- Coordenador da Disciplina de Automação de Projetos (AP);
- Consultor Técnico em Engenharia de Materiais e de Softwares da Disciplina de Automação de Projetos (AP);
- Analistas de Materiais da Disciplina de Automação de Projetos (AP)
- Administradores 3D da Disciplina de Automação de Projetos (AP) para suporte à Disciplina de Tubulações.

As entrevistas com os agentes foram gravadas e muitas informações eram anotadas num caderno de campo. A coleta de dados possibilitou cruzar informações para as análises que se sucederam. Em caso de dúvidas ou informações complementares fazia-se novo contato com o entrevistado. Em alguns casos novas entrevistas foram agendadas para complementação e esclarecimentos de informações.

Importantes fontes documentais foram coletadas, tais como: organogramas, banco de dados de gestão de materiais (especificação de materiais), matrizes de responsabilidades, *layouts* arquitetônicos impressos, documentos informativos quanto ao funcionamento do portal eletrônico para comunicações entre as equipes de trabalho, etc.

1.4.5. Estudo das trocas de dados entre *softwares* de elaboração de projetos do grupo pesquisado

Para estudo das idas e vindas (ou trocas de informações) entre as diferentes ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado na elaboração de projetos industriais, adotou-se um fluxograma, cruzando-se as fases de projeto *versus* disciplinas de projeto. Para cada fase foram mostrados os *softwares* utilizados por cada uma das disciplinas que compõem o grupo. A linguagem ou formato para a comunicação entre ferramentas de uma mesma disciplina ou interdisciplinar foi também investigada. Este fluxograma pode ser visualizado na Figura 61, situada na seção 3.7.12, Capítulo 3.

1.4.6. Análise do Estágio BIM ou Estágio de Capacidade BIM do grupo pesquisado

PEm relação à tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) este trabalho busca fazer um enquadramento do grupo de empresas pesquisadas em um dos Estágios de Capacidade BIM - *BIM Capability Stages* – embasando-se nos princípios descritos Succar (2009a). De acordo com o autor, a Capacidade BIM é descrita como a “*habilidade básica para executar determinada tarefa, entregar um serviço ou gerar um produto*”. Neste conceito, uma empresa pode se enquadrar nos seguintes estágios BIM:

- BIM Estágio 1 – Modelagem Orientada a Objetos Paramétricos;
- BIM Estágio 2 – Colaboração Baseada em Modelos Digitais;
- BIM Estágio 3 – Integração Baseada em Redes.

Não é escopo deste trabalho, analisar o grau de maturidade BIM - descrito por Succar (2009a) como o “*grau de excelência na realização de dessa tarefa, serviço ou produto*”.

Conforme sugerido por Succar (*op. cit.*), para avaliação do Nível de Capacidade BIM, os grupos foram analisados com parâmetros crescentes, em nível de Capacidade, na seguinte sequência: (i) existência de *softwares* de modelagem orientada a objetos utilizados pelo grupo; (ii) a forma do trabalho colaborativo do grupo baseado no modelo multidisciplinar e; (iii) a utilização ou não – por parte das empresas – de solução em rede (servidor) para compartilhamento *online* de modelos parametrizados com outras disciplinas. Esta análise pode ser visualizada por meio da Tabela 7, no Capítulo 3.

1.4.7. Análise da evolução BIM quanto a paradigmas ou passos

Outra forma, utilizada neste trabalho, para se classificar a evolução da utilização da tecnologia BIM foram os “paradigmas” citados por Taylor e Bernstein (2009). Eles mostraram – por meio de uma pesquisa que envolveu 26 empresas dos EUA, da Europa, da Austrália e da Ásia – que quanto ao processo de implementação da tecnologia BIM as empresas tendem a trilhar em uma direção passando, segundo eles, pelos seguintes paradigmas: **visualização, coordenação, análise e integração da cadeia de suprimentos**. Segundo os autores as empresas tendem a evoluir em uma trajetória onde ficam cada vez mais dispostas a compartilharem arquivos BIM.

Taylor e Bernstein (2009) mostraram que no primeiro *step* ou paradigma (**Visualização**) nenhuma grande mudança ocorre no processo de projeto. Em nível de **Coordenação** BIM as empresas buscam estudar a relação de interferências e conexões entre as partes que compõem a construção como também produzir desenhos ortográficos coordenados do projeto. Em nível de **Análise** as empresas tendem a fazer uso da representação BIM para avaliar o desempenho da edificação. Quando evoluem para o nível ou paradigma de integração da cadeia de suprimentos, as práticas das empresas buscam envolver o compartilhamento de dados BIM na cadeia, assim como uma reconfiguração do processo de colaboração entre os agentes. Os resultados desta análise podem ser visualizados na Tabela 8, Capítulo 3.

No que tange ao desenvolvimento de *softwares* pelas empresas pesquisadas, destaca-se a exploração, neste trabalho, do desenvolvimento e aplicação de uma ferramenta específica de Gestão de Materiais – O MEX (*Material Explorer*). Este *software* foi desenvolvido, pela equipe de automação de projetos do grupo pesquisado – Empresa “B” - para a disciplina de Gestão de Materiais. A ferramenta possui capacidade de criação de famílias de objetos paramétricos; envio dessas famílias com especificações de materiais aos *softwares* de modelagem orientada a objetos; importação de dados dessas ferramentas e composição de listas de materiais, por disciplina ou geral (para compra). Este software ainda possui capacidade de subsidiar trocas de informações entre plataformas não interoperáveis entre si, propiciando uma interoperabilidade de padrão proprietário.

Para se estudar a sequência de desenvolvimento das fases de projeto este estudo adotou o conceito de projeto simultâneo da Fabrício *et al.* (1998) e Fabrício (2002). Embasado neste conceito, a sequência de elaboração de projetos pelo grupo pesquisado foi analisada.

Metodologicamente adotou-se neste trabalho, um projeto idealizado junto ao grupo pesquisado, com duração-padrão de 12 (doze) meses. Obviamente a duração para elaboração de diferentes projetos varia em função das particularidades de cada caso, contudo, o grupo pesquisado considerou o modelo proposto bastante representativo para a maioria dos casos.

A análise foi realizada em duas etapas: Na primeira delas dividiu-se o ciclo de projeto nas diferentes fases de projeto sem distinguir as disciplinas, como forma de se estudar a sequência das fases de elaboração dos projetos. Ou seja, foi analisado se havia ou não simultaneidade entre as diferentes fases de projeto das empresas pesquisadas, sem distinguir as atividades disciplinares presentes em cada fase.

Na segunda etapa, diferentemente da forma mais abordada pela literatura, cada fase do projeto foi subdividida em disciplinas de projetos e/ou tarefas, para possibilitar o estudo da simultaneidade (ou paralelismo) não apenas entre fases de projeto, mas também entre suas atividades e tarefas.

Como supracitado a base principal para análise da sequência das etapas do processo de desenvolvimento do projeto foi o conceito de Projeto Simultâneo de Fabrício *et al.* (1997) e Fabrício (2012). Segundo os autores as premissas que sustentam este conceito são:

- Desenvolvimento em paralelo das diferentes etapas do processo de desenvolvimento do produto;
- Formação de equipes multidisciplinares, formadas por diferentes agentes do processo de produção, que possuam visões integradas;
- Estímulo à interatividade entre os agentes das equipes multidisciplinares, enfatizando o papel do coordenador de projetos como fomentador do processo;
- Foco marcante na transformação das aspirações e necessidades do cliente final em especificações de projeto.

A compilação da análise do grupo pesquisado de acordo com os pilares do conceito de Projeto Simultâneo pode ser visualizada na Tabela 9, Capítulo 3.

1.5. Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por quatro capítulos como descrito a seguir:

O primeiro capítulo apresenta o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente estabelece-se o território da investigação e a sua problemática. Em seguida discorre-se sobre a justificativa e os objetivos do trabalho bem como os métodos empregados para realizá-lo.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica específica sobre Modelagem da Informação da Construção (BIM) e Industrial; bem como um apanhado geral a respeito da sequência do processo de projeto (*design*). A revisão da literatura sobre BIM aborda temas como evolução da tecnologia CAD-BIM, protocolos, adoção, aplicações do conceito e suas ferramentas, interoperabilidade, colaboração e integração, dentre outros. Em relação à modelagem paramétrica industrial, fez-se uma revisão de trabalhos científicos que abordam a aplicação do conceito do BIM em processos industriais, bem como dos esforços internacionais para

harmonização de interfaces ou sobreposições normativas de padrões relacionados ao tema, como o IFC (ISO-16739) e a ISO-15926. A investigação realizada a respeito de ferramentas de modelagem limitou-se, basicamente, aos *softwares* utilizados pelo grupo pesquisado.

No terceiro capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos nesta investigação, com o respaldo advindo da literatura revisada.

O quarto (e último) capítulo traz conclusões e considerações finais sobre a pesquisa realizada, bem como sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados aos temas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Geração de Arquivos Digitais a partir de sistemas CAD tradicionais x BIM

Todo e qualquer sistema CAD (*Computer Aided Design*) pode gerar arquivos digitais. Os mais antigos produzem desenhos que podem ser impressos para representação do modelo do edifício a ser construído. Eles geram arquivos que consistem principalmente em vetores, linhas associadas e *layers* para identificação das primitivas geométricas. Ao passo que os sistemas CAD foram se desenvolvendo, informações adicionais foram incorporadas aos arquivos para permitir a incorporação de blocos de dados e textos associados ao modelo. Com a introdução da modelagem tridimensional (3D), ferramentas com definições avançadas e superfícies complexas foram adicionadas (EASTMAN *et al.*, 2008).

De acordo com Eastman *et al.* (*op. cit.*) ao passo que os sistemas CAD se tornaram mais inteligentes e mais usuários queriam compartilhar dados associados a um dado projeto, o foco da modelagem mudou de desenhos e imagens tridimensionais para os dados em si.

Um modelo construído por ferramentas BIM pode, de acordo com Eastman *et al.* (*op. cit.*) suportar múltiplos e diferentes pontos de vista desses dados contidos em um conjunto de desenhos, incluindo desenhos bidimensionais e tridimensionais. Um modelo de um edifício pode ser descrito pelo seu conteúdo (que objeto descreve) ou por suas capacidades (que tipo de informação requerida ele pode suportar). Para os autores a segunda abordagem é preferível pelo fato de que esta define o que se pode fazer com o modelo ao invés de como o banco de dados é construído - o que pode variar com cada implementação.

2.2. Evolução da Tecnologia de Modelagem

As ferramentas CAD são, ainda hoje, amplamente difundidas e quase indispensáveis na indústria da construção civil (IBRAHIM *et al.*, 2004).

De acordo com Ayres e Scheer (2007) as ferramentas CAD são, hoje em dia, indispensáveis à indústria da construção civil. Os autores, contudo, salientam que o fato de não se conhecer os prós e contras dessas ferramentas pode atrapalhar o desempenho do processo de projeto e até mesmo prejudicar a utilização de todo o potencial oferecido pelas Tecnologias da Informação (TIs).

De acordo com Campbell (2006) o termo BIM possui suas raízes em pesquisas CAD de décadas atrás e até o momento ainda não tem uma definição única amplamente aceita.

2.2.1. Ferramentas CAD 2D

De acordo com Ibrahim *et al.* (2004) os CADs geométricos, apesar de darem suporte à modelagem digital, sempre focaram em representação gráfica do modelo digital com transmissão incipiente de informações por meio do desenho, ou seja, o modelo nunca foi desenvolvido para ser informacional. Nesses termos o CAD geométrico não apresenta muito avanço em relação à antiga prancheta.

A analogia com a prancheta traz à tona o aspecto mais frágil dos CAD tradicionais: apesar de eliminarem tarefas repetitivas no ato do desenho em comparação ao desenho manual, seu suporte oferecido ao processo do projeto está pouco além de uma prancheta melhorada, sem reformulação do processo de produção, implicando em transmissões incipientes da informação do desenho. Por esse motivo, embora tenha se tornado padrão para a indústria da construção, o CAD 2D é obstáculo para a comunicação eficiente entre os profissionais do setor AEC (AYRES; SCHEER, 2007).

2.2.2. Ferramentas CAD 3D

A utilização do CAD 3D aumenta de forma considerável a quantidade de informações ligadas ao projeto. Ocorre, entretanto, que essas informações são disponibilizadas às especialidades de forma fragmentada e, por isso, não trazem muitos benefícios no que se refere à informação da construção. Esse fato mostra que não existe muita diferença entre o CAD 3D e o geométrico (CAD 2D) no aspecto informacional voltado à edificação (AYRES; SCHEER, 2007).

2.2.3. Ferramentas CAD 4D

A próxima geração dos CADs, o 4D, integra o cronograma da obra ao CAD tridimensional, possibilitando a visualização das fases do projeto e da sequência construtiva por quaisquer pessoas envolvidas no empreendimento. Essa nova perspectiva pode vir a ser um atrativo para dos clientes e até mesmo, por que não, uma estratégia de *marketing* (GOES, 2011).

O CAD 4D é, obviamente, mais robusto que o tridimensional, uma vez que atrela o tempo às informações geométricas. Acrescido do cronograma, o modelo da edificação se torna mais informacional e realista. Contudo, pelo fato de ainda, neste caso, se trabalhar com primitivas geométricas (arcos, linhas, etc.) os objetos não são reconhecidos pelos *softwares* como elementos construtivos. Apesar dos objetos serem visualmente uma representação da realidade, não o são na linguagem computacional. Não podem ser lidos ou interpretados como objetos representativos da realidade.

2.2.4. A Tecnologia Building Information Modeling

Para Eastman *et al.* (2008) o termo BIM – *Building Information Modeling* - é definido como uma tecnologia de modelagem com conjuntos associados de processos que possibilitam produzir, comunicar e analisar modelos digitais de edifícios. Segundo os autores os modelos digitais de edifícios são caracterizados por:

- Componentes construtivos que são representados por inteligentes representações digitais (objetos) que “sabem” o que são e podem ser associadas à computação gráfica, a atributos de dados e a regras paramétricas;
- Componentes que incluem dados que descrevem como se comportam;
- Dados consistentes e não redundantes, de modo que mudanças em dados do componente são representadas em todas as suas vistas;
- Dados coordenados de tal forma que todas as vistas de um modelo são representadas de forma coordenada.

Como descrito por Succar (2009b) BIM é um conjunto de integração de políticas, processos e tecnologias. De acordo com Penttilä (2006) essa integração deve gerar uma metodologia para gerenciamento de dados essenciais ao projeto e ao empreendimento, na forma digital, ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

Segundo Campbell (2006), para a construtora americana M.A. Mortenson Company, BIM pode ser definido como “*uma simulação inteligente da Arquitetura*”. A referida construtora salienta que o BIM possui raízes em pesquisas CAD de décadas atrás e ainda não tem uma definição única amplamente aceita e que para que se possa alcançar uma prestação integrada dos serviços BIM, esta “*inteligente simulação*” deve apresentar 6 (seis) características-chave, quais sejam:

- Ser digital;
- Ser espacial (3D);
- Ser mensurável (quantificável, dimensionável; consultável);
- Ser compreensível (encapsular e comunicar a intenção do projeto; o desempenho da edificação e a “construtibilidade”; além de incluir aspectos sequenciais e financeiros dos meios e métodos construtivos);
- Ser acessível a todo o setor AEC, por meio de uma interoperável e intuitiva interface;
- Ser durável (usável em todas as fases de uma instalação).

Succar (2009a) define BIM como uma crescente coleção de conceitos e ferramentas sobre os quais têm sido atribuídas capacidades transformadoras na indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO).

Para Ayres e Scheer (2007) BIM se apresenta como um sistema de gestão de informações; que atrela um banco de dados à modelagem da edificação, integrando, ao modelo digital, informações vitais relativas ao projeto. Para os autores, a adoção de sistemas BIM, mediante a mudança das ferramentas utilizadas na geração de documentação e do próprio processo de projeção, pode se tornar uma forma viável para projetistas do setor AEC se inserir ou se manterem no mercado frente a novos desafios do setor.

Para Eastman *et al.* (2008) os sistemas BIM são o que há de mais promissor para o desenvolvimento da indústria AEC. Por meio dessa tecnologia, um modelo virtual de um edifício é construído digitalmente. Este modelo, quando completado, contém geometria precisa e dados relevantes necessários para dar suporte à construção, fabricação e atividades de contratos necessários para realização da construção. Além disso, a tecnologia BIM traz consigo muitas funções necessárias para a modelação de todo o ciclo de vida de uma edificação, fornecendo uma base para as capacidades de construção e mudanças nos papéis e relações entre as equipes de trabalho.

Para Pan *et al.* (2011) BIM tem sido aceito como um novo paradigma que melhora a produtividade da indústria da construção civil, ao passo que facilita a mudança do processos na forma em que os projetos são entregues.

A Figura 5 ilustra o conceito BIM na visão de Araújo *et al.* (2011).

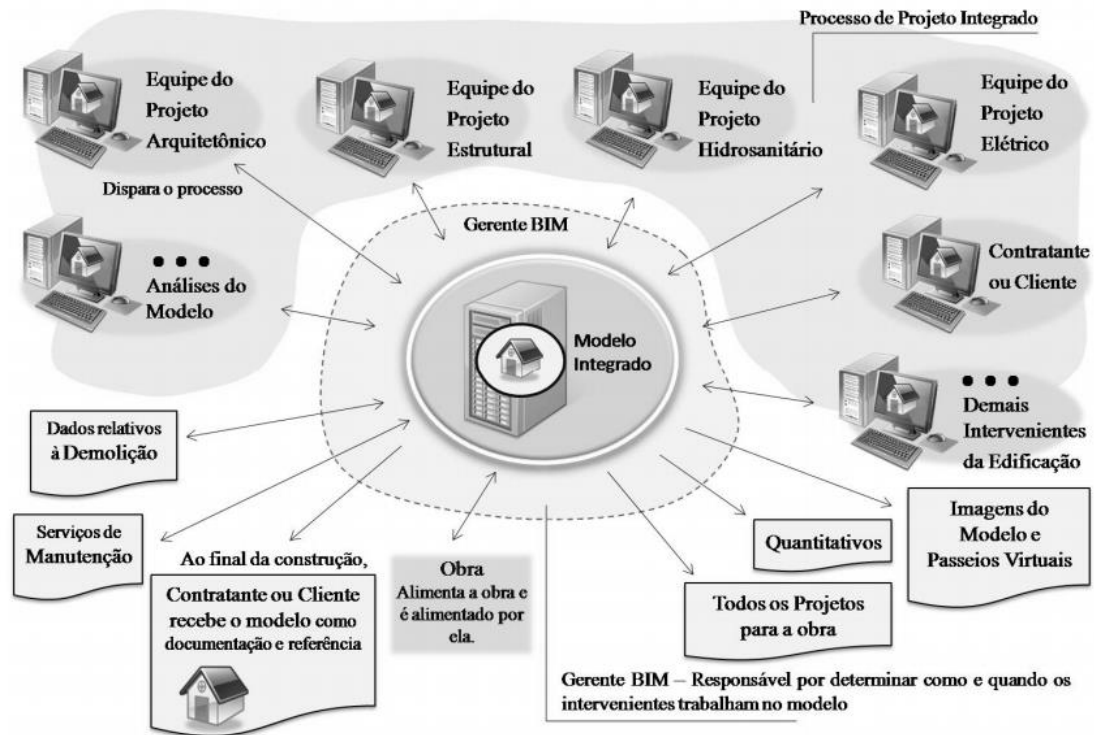


Figura 5 - Esquema de funcionamento da Plataforma BIM.

Fonte: ARAUJO *et al.* (2011)

Para Taylor e Bernstein (2009) *Building Information Modeling*, ou simplesmente BIM, é um novo termo na indústria da construção civil, utilizado para se referir a tecnologias de desenvolvimento de modelos digitais tridimensionais (3D) parametrizados, desenvolvidos com auxílio do computador (CAD) e a processos da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Modelos BIM possuem potencial de representar, virtualmente, a relação espacial entre os componentes da construção, e possuem uma lógica que facilita a extração de informações deste modelo como, por exemplo, quantidade de níveis contidos no modelo e extração de listas de materiais (TAYLOR; BERNSTEIN, 2009).

De acordo com CIC (2011) o protocolo americano *BIM Project Execution Planning Guide* e a norma americana *National Building Information Modeling Standards (NBIMS)* - ambos desenvolvidos pelo projeto *BIM Project Execution Planning buildingSMART alliance (bSa)* - definem BIM como “*uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação; um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações sobre uma instalação, formando uma base confiável para as tomadas de decisões durante todo o ciclo de vida desta instalação, ou seja, de sua concepção inicial à sua demolição*”. Para este comitê a premissa básica do BIM é a colaboração entre os vários atores em diferentes fases do

ciclo de vida de uma instalação, com o objetivo de inserir, extrair, atualizar ou modificar informações em BIM para suportar e refletir as funções de cada parte interessada (*stakeholders*).

Como pode ser visto na Figura 6, Succar (2009b) compilou algumas conotações comuns aos diferentes termos BIM utilizados pela bibliografia internacional. Segundo o autor, o conceito de Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode adotar diferentes significados, como: apresentação, moldagem, formação ou delimitação do âmbito de um organizado conjunto de dados que seja significativo e acionável para virtualmente construir; estender a análises; explorar as possibilidades; estudar hipóteses de cenários; detectar possibilidades de colisões; calcular os custos de construção; analisar a construtibilidade; planejar a demolição; gerenciar e manter uma estrutura; um espaço fechado ou um ambiente construído.

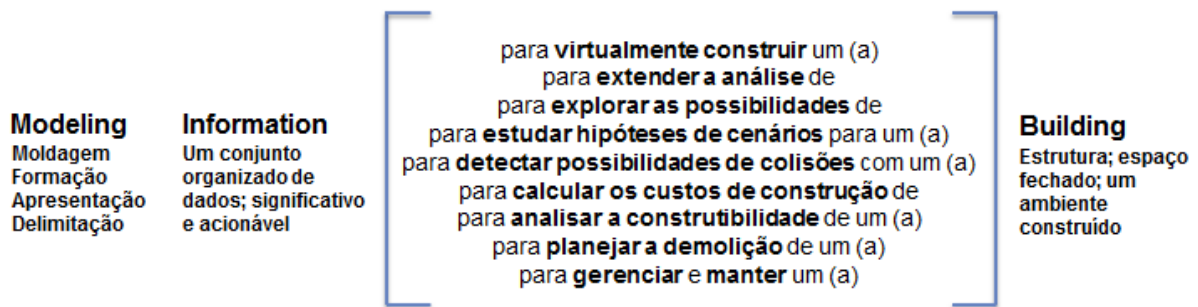


Figura 6 – Alguns conotações comuns para os múltiplos termos BIM

Fonte: adaptado de Succar (2009b)

2.3. Evolução Paradigmática na Utilização do BIM

Em uma pesquisa que envolveu 26 estudos de caso específicos, Taylor e Bernstein (2009) identificaram quatro paradigmas na prática do processo de implementação e utilização da tecnologia BIM. A pesquisa envolveu empresas do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) dos Estados Unidos (16 empresas), Europa (8 empresas), Austrália (1 empresa) e Ásia (1 empresa); dentro de certa rede de projetistas. De acordo com os autores, ao passo que as empresas aumentam suas experiências em projetos BIM, a prática de paradigmas BIM em nível da empresa (dentro de uma empresa) evolui cumulativamente ao longo de uma trajetória de **visualização, coordenação, análise e integração da cadeia de suprimentos**. Eles notaram, ainda que, ao passo que essas empresas evoluem ao longo dessa trajetória elas estão cada vez mais dispostas a compartilharem arquivos eletrônicos BIM em toda a rede de projetos e na cadeia de fornecimento de materiais. Os autores perceberam, por conseguinte,

que as práticas entre diferentes organizações evoluem à medida que as práticas dos referidos paradigmas evoluem.

Os autores concluíram, no entanto, que mesmo as empresas que evoluíram na trajetória dos paradigmas BIM um dia, no passado, haviam visto ferramentas BIM com uma oportunidade de melhorar a forma como o modelo de um projeto seria visualizado e compartilhado entre os vários envolvidos no processo de projeto (*stakeholders*). Eles verificaram ainda que empresas que não haviam implementado esta tecnologia, percebiam o papel primordial das ferramentas BIM como forma de melhorar a visualização do modelo.

2.3.1. Utilização BIM em nível de Visualização

Segundo Taylor e Bernstein (2009), quando BIM é utilizado apenas para **Visualização** (considerado por eles como o primeiro paradigma BIM) nenhuma grande mudança ocorre no processo de projeto, visto que BIM é utilizado pelos envolvidos na equipe de projeto simplesmente para entendimento e representação tridimensional das características de uma instalação. Os autores observaram que poucas firmas se mantêm neste estágio após terem completado pelo menos um projeto desenvolvido com a tecnologia BIM.

Taylor e Bernstein consideraram o estágio de visualização como o primeiro de uma trajetória evolutiva dos paradigmas BIM pelo fato de a grande maioria dos entrevistados haverem descrito a visualização como sendo a abordagem inicial para utilização do BIM em projetos.

2.3.2. Utilização BIM em nível de Coordenação

Em nível de Coordenação BIM é utilizado para avaliar a relação de interferências e conexões entre as partes que compõem a construção, bem como para produzir desenhos ortográficos coordenados do projeto. O aumento da troca de arquivos eletrônicos requer que as empresas resolvam a questão da interoperabilidade tecnológica (TAYLOR; BERNSTEIN, 2009).

Taylor e Bernstein (*op. cit.*) observaram que após evoluírem para além do paradigma de visualização, empresas utilizam o BIM para melhoria da coordenação de seus trabalhos internos ou em toda a rede de projetistas. Eles perceberam que as empresas que se encontravam neste estágio ainda utilizavam a tecnologia para a visualização, contudo haviam evoluído suas aplicações de modelos BIM para incluírem tarefas de coordenação. Os autores verificaram que muito rapidamente após a adoção de ferramentas BIM as empresas adotam o

paradigma Coordenação. Os resultados citados por eles, no entanto, sugerem que empresas enfrentam dificuldades para superarem questões relativas à coordenação e, então colherem de forma completa os benefícios da tecnologia.

Em nível de coordenação, nem todas as empresas envolvidas pela pesquisa de Taylor e Bernstein (2009) compartilhavam arquivos BIM com toda a rede de projetos. Em alguns casos as firmas compartilhavam arquivos eletrônicos apenas internamente à instituição e não entre todos os *stakeholders*.

2.3.3. Utilização BIM em nível de Análise

Em nível da análise, as empresas fazem uso da representação BIM para avaliar o desempenho da edificação. Neste nível o processo construtivo precisa ser bem projetado para permitir a colaboração ativa entre os agentes das diferentes disciplinas da equipe de projetos (TAYLOR; BERNSTEIN, 2009). Os autores verificaram que as empresas que se enquadravam neste paradigma BIM compartilhavam arquivos eletrônicos com outras firmas de projetos (em alguns casos) ou com fabricantes ou fornecedores (demais casos). Isso sugere, segundo eles, que o compartilhamento de arquivos eletrônicos pode ser necessário para que o BIM seja uma ferramenta efetiva de análise.

De acordo com Taylor e Bernstein (*op. cit.*) as empresas que utilizavam BIM em nível de análise descreveram, nas entrevistas, uma variedade de possibilidades analíticas na utilização de modelos BIM. Algumas companhias afirmaram utilizar modelos para analisar os impactos financeiros causados por alterações nos projetos; para análise de rotas de fuga em casos de incêndio; para estudos de cenários e utilização de recursos naturais quanto a iluminação; dentre outras.

2.3.4. Utilização BIM em termos de Integração da Cadeia de Suprimentos

De acordo Segundo Taylor e Bernstein (2009), o ato de se evoluir para o nível de integração da cadeia de suprimentos envolve o compartilhamento de dados BIM na cadeia, bem como a reconfiguração do processo de colaboração entre os agentes; como resposta a uma abordagem de modelagem muito mais integrada.

O paradigma de integração da cadeia de suprimentos foi o mais evoluído dentre os identificados pelo projeto de pesquisa de Taylor e Bernstein (2009). Segundo os

pesquisadores, as empresas enquadradas neste nível de paradigma BIM haviam completado um número relativamente grande de projetos BIM. Eles ainda perceberam que todas as empresas identificadas neste paradigma compartilhavam arquivos com outras firmas na cadeia de suprimentos.

2.4. Gerações BIM

Tobin (2008) apresenta três fases ou eras na adoção dos sistemas BIM. Essas fases são denominadas por ele de BIM 1.0, BIM 2.0 e o BIM 3.0. Essa sequência se refere aos itens de modelagem, análise e simulações, respectivamente.

A seguir é descrito como as eras do BIM têm mudado a forma de trabalhar de projetistas e construtores e como essa nova tecnologia tem sido adotada por esses do setor AEC.

2.4.1. A era BIM 1.0 – Substituição do Bi pelo Tridimensional Parametrizado

Na era BIM 1.0, o *software* baseado em modelação surgiu em um contexto de fluxo de trabalho de produção, CAD 2D, onde o maior benefício foi uma produção de documentos mais rápida e melhor coordenada. Os sistemas CAD 2D são substituídos por modelos 3D parametrizados para desenvolvimento dos projetos. Objetiva-se, nesta fase, uma modelação orientada a objetos para minimizar a tediosa elaboração de objetos por meio de linhas, por ter um objeto 3D de lidar com múltiplas representações em 2D, quando colocado em um projeto. Durante muitos anos de desenvolvimento, cada vez mais, sofisticados programas de CAD baseados em objetos surgiram com uma coordenação de desenhos melhorada, como também com a adição de campos de dados amarrados aos objetos. Essas ferramentas, agora, permitiam, em tempo real, geração de modelos e representação 3D. Segundo o autor, esse novo sistema era mais robusto que o CAD 2D, reduzindo as tarefas de elaboração e contagens tediosas. Pelo fato de as ferramentas passarem a incorporar dados aos objetos, o termo "Modelagem de Informação da Construção" logo surgiu. O objetivo era usar os recursos de dados para geração do cronograma, o que acabaria por terminar no papel. Embora a forma de trabalhar com ele às vezes ter sido vista como um incômodo, o novo *software* cresce largamente em aceitação pelo fato dos benefícios de coordenação trazidos por ele. Um fato interessante é que, nesta primeira etapa de adoção dos sistemas BIM, o foco ainda se concentra em tarefas tradicionais de representação, obviamente utilizando o modelo tridimensional parametrizado (TOBIN, 2008).

2.4.2. A era BIM 2.0 – A Fase da Interoperabilidade

Coelho (2008) salienta que na segunda fase da Modelagem da Informação da Construção - referenciada como BIM 2.0 - os modelos associados a informações, como o tempo (4D), dados financeiros (5D) e modelos de análise de eficiência energética (nD), por exemplo, são associados à plataforma.

Para Tobin (2008) a era BIM 2.0, em contraste com a era 1.0, é um pouco mais complexa de ser aplicada por parte dos arquitetos, uma vez que vários grupos estão vendo possibilidades completamente diferentes – e que exigem um desempenho diferente – do mesmo artefato. A ferramenta que os arquitetos utilizam para produção de documentação torna-se agora, por exemplo, uma ferramenta de logística para os contratantes, bem como ferramenta de gestão de instalações para os proprietários. As ferramentas BIM passam a ser utilizadas por empreiteiros, que popularizam os termos 4D (cronograma) e 5D (orçamentos). Não querendo ficar ultrapassados, sub-consultores começam a utilizar as ferramentas BIM como motores para análises energética e ambiental. BIM está produzindo uma divergência de opinião no que diz respeito a como os modelos BIM devem ser construídos. Assim os arquitetos estão lutando para absorver como construir esses modelos de forma correta e coerente, ou seja, deve-se definir de antemão quem vai construí-los adequadamente e qual o seu propósito. Isso pode levar os profissionais para fora de suas zonas de conforto e, conseqüentemente, mudar a tradicional educação e cultura dos profissionais da AEC. A era BIM 2.0, atualmente em curso, está bastante tumultuada, onde arquitetos tentam aprender novas técnicas permitidas pelos modelos BIM.

A interoperabilidade – que significa uma forma de se trocar várias informações de um parceiro para outro – ou sua falta, surge agora como um problema de toda a indústria. Os agentes envolvidos no empreendimento são confrontados com criação de modelos diferentes de tudo que já viram. É evidente, segundo Tobin (2008), que o BIM 2.0 ultrapassou a ideia de uma ferramenta de representação, ideia do BIM 1.0. O autor vê o BIM 2.0 com o *Big Bang* ao contrário, visto que os projetistas e construtores que outrora se separaram cada um para sua própria área, hoje estão vendo a necessidade de voltarem a trabalhar juntos, de forma colaborativa. Segundo ele, isso se dá por causa do potencial dessa nova tecnologia.

Diante da importância do trabalho colaborativo entre as diferentes especialidades do setor AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção Civil) para o conceito BIM, surge a necessidade

de interação eficiente entre as ferramentas das diferentes áreas, com tecnologia de apoio à modelagem informacional do edifício, proporcionando trocas de informações de forma eficiente, segura e fiel. Essa troca de informações entre as mais diferenciadas ferramentas é denominada Interoperabilidade. Para Eastman *et al.* (2008) a interoperabilidade retrata a necessidade de transmissão de dados entre diferentes aplicativos, permitindo a contribuição de diferentes especialistas e aplicações ao trabalho de toda a equipe envolvida no empreendimento. Para os autores a interoperabilidade elimina a necessidade de se replicar dados de entrada anteriormente gerados; além de facilitar os fluxos de trabalho e a automação.

2.4.3. A era BIM 3.0 – A era pós-interoperabilidade

Chamado de “A era pós-interoperabilidade” o BIM 3.0 precisa superar os problemas, quase intransponíveis, segundo o autor, da falta de interoperabilidade encontrada pelo BIM 2.0. Nesta etapa existe a necessidade de se olhar à frente deste problema; enxergá-lo como superado. A era 3.0 considera como o BIM será quando o fato de os agentes de cada especialidade envolvidos trabalharem juntos em uma mesma plataforma tecnológica será uma proposta de emenda. Na 3ª era do BIM e além, prevê-se que as várias partes (projetistas e construtores) irão construir um só modelo, não apenas como uma representação, mas como um ensaio geral para a construção, todos trabalhando, ao mesmo tempo, com um único modelo de como seria a construção na realidade. A terceira era do BIM será, provavelmente, um banco de dados centrado na internet, onde os protótipos BIM de edifícios são construídos e povoados de forma colaborativa em ambientes 3D de hospedagem – as conhecidas extranets de projetos - acessados de qualquer lugar onde se disponha desse recurso. Todos os participantes deverão entender como contribuir coletivamente e colaborativamente por meio de seus módulos específicos. Os protótipos iniciais, feitos pelos arquitetos, terão contínua agregação de valor, por meio de esforços de projetistas, construtores e fabricantes. O BIM 3.0, que parece ser bastante idealista, precisar “olhar” à frente dos problemas, não os ignorando, mas superando-os. Os problemas da falta de interoperabilidade devem ser superados pelas inovações tecnológicas na área da computação juntamente com as mudanças de atitudes e ações dos envolvidos no empreendimento (TOBIN, 2008).

2.5. Estágios de Capacidade BIM de uma empresa ou organização

Para Succar (2009a) o conceito de Capacidade BIM se refere à “*habilidade básica para executar determinada tarefa, entregar um serviço ou gerar um produto.*”. Para o autor, os

Estágios de Capacidade BIM, ou simplesmente Estágios BIM, definem os principais marcos a serem alcançados por equipes e organizações que optarem por adotar tecnologias e conceitos BIM.

Os estágios BIM identificam: *(i)* um ponto fixo de partida (o estado antes da implementação BIM); *(ii)* três estágios BIM fixos e *(iii)* um ponto final variável que permite futuros avanços imprevistos da tecnologia. Esses estágios são definidos por seus requisitos mínimos (SUCCAR, 2009a).

Quanto aos 3 estágios intermediários, Succar (2009a) mostra que *para que uma organização seja considerada no Estágio 1 de Capacidade BIM (por exemplo), esta empresa precisa ter implantada pelo menos um software de modelagem orientada a objetos. De forma similar, para ser enquadrada na Capacidade BIM Estágio 2 uma organização precisa fazer parte de projeto colaborativo baseado em um modelo multidisciplinar. Para ser considerada ao Nível 3 de Capacidade BIM uma organização deve estar usando uma solução baseada na rede (como um servidor, por exemplo) para compartilhamento de modelos baseados em objetos paramétricos com pelo menos 2 (duas) outras disciplinas da rede (network) (SUCCAR, 2009).*

De acordo com Succar (2009) os Estágios BIM incluem tecnologia, processos e política de componentes. O autor identifica, nesta ordem, os cinco níveis de Capacidade BIM: Estágio Pré-BIM; BIM Estágio 1; BIM Estágio 2; BIM Estágio 3 e o *Integrated Project Delivery* (IPD) que denota uma abordagem ou um objetivo final de implementação BIM, conforme (AIA, 2007). Esses níveis e suas abordagens estão descritos a seguir:

2.5.1. Pré-BIM

O termo Estágio Pré-BIM é utilizado por Succar (2009) como representação do status da organização antes da implementação da tecnologia e dos conceitos BIM. Este nível é caracterizado pela entrega desconexa ou desintegrada do projeto. A indústria da construção aqui é caracterizada por relações antagônicas onde acordos contratuais que estimulam a prevenção e a disseminação de riscos. A modelagem é muito dependente de documentações bidimensionais que precisam representar uma realidade 3D. Neste estágio, quando algumas visualizações são geradas, elas são desconexas e dependentes de documentações e detalhamentos bidimensionais. Os levantamentos de quantitativos, estimativas de custos e

especificações de materiais são tarefas manuais, não ligadas a um modelo para visual. Similarmente, a colaboração entre as partes interessadas (*stakeholders*) e o fluxo de trabalho é linear e assíncrono. Em condições "Pré-BIM" a indústria sofre com a falta de investimentos em tecnologias e falta de interoperabilidade (CWIC, 2004); (NIST, 2004) *apud* (SUCCAR, 2009).

O símbolo gráfico da Figura 7 representa documentações comuns ao estágio Pré-BIM como desenhos manuais 2D; desenhos bidimensionais e 3D não parametrizados, desenvolvidos com auxílio de ferramentas CAD como o AutoCAD, o SketchUp, etc.

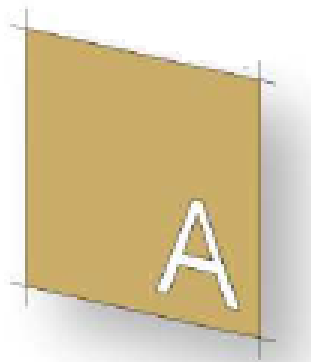


Figura 7 – Símbolo gráfico de representação do Estágio Pré-BIM
Fonte: Succar (2009a)

2.5.2. BIM Estágio 1 – Modelagem Orientada a Objetos Paramétricos

O Estágio 1 de Capacidade é voltado à modelagem parametrizada. De acordo com Succar (2009a) a implementação BIM inicia-se neste estágio, mediante a implantação de ferramentas de modelagem 3D orientada a objetos similares ao Revit, ao ArchiCAD e ao Digital Project. Neste estágio usuários geram modelos individuais dentro de uma das fases do ciclo de vida do empreendimento – Projeto ou *Design* (D), Construção (C) ou Operação (O). Modelos entregáveis incluem projetos arquitetônicos (D); modelos de fabricação de dutos (C), utilizados principalmente para automatizar a geração e coordenação de documentações 2D e visualizações tridimensionais. Outros resultados incluem exportação de dados básicos (como volume de concreto, custos de equipamentos e de móveis, etc.) e modelos 3D leves (como DWF, 3D PDF, NWD, etc.) que não possuem atributos paramétricos modificáveis. Práticas colaborativas no Estágio 1 de Capacidade BIM são similares ao nível Pré-BIM e não existem significativas trocas baseadas em modelos interdisciplinares. O intercâmbio de dados entre os participantes do projeto são unidirecionais e as comunicações continuam assíncronas e

desconexas. Como neste estágio ocorrem apenas pequenas mudanças no processo, relações contratuais, riscos e comportamentos organizacionais intrínsecos ao estágio Pré-BIM persistem. Contudo, a natureza semântica de modelos orientados a objetos paramétricos e - em função deles - a necessidade de resolução preventiva e detalhada de desafios de projeto e construção estimulam realizações em paralelo das fases do ciclo de vida do projeto. Quando um projeto é executado por fases, atividades de projeto (*design*) e construção podem ser sobrepostas como forma de se economizar tempo (JAAFARI, 1997) *apud* (SUCCAR, 2009a).

O símbolo gráfico da Figura 8 - comum ao Estágio BIM 1 - representa modelos 3D parametrizados, desenvolvidos de forma individual (por disciplinas) por meio de ferramentas BIM como o Revit Structure, o ArchiCAD ou a ferramenta de detalhe estrutural da Tekla.



Figura 8 - Símbolo gráfico de representação do Estágio 1 de Capacidade BIM
Fonte: Succar (2009a)

2.5.3. BIM Estágio 2 – Colaboração Baseada em Modelos Digitais

Após terem desenvolvido expertises de modelagem em disciplinas à parte durante o Estágio 1, os agentes iniciam, no segundo estágio de Capacidade BIM, a colaborar de forma efetiva com projetistas de outras disciplinas. A colaboração pode ocorrer de diversas formas, de acordo com a ferramenta BIM escolhida pelas diferentes equipes. Duas formas de colaboração diferentes podem ser exemplificadas por intercâmbios (trocas interoperáveis) baseadas em modelos paramétricos (ou parte deles) por meio de formatos proprietários (por exemplo, entre Revit Architecture e Revit Structure na extensão .RVT) e por meio de formatos abertos ou não proprietários (como entre o ArchiCAD e um *software* Tekla utilizando-se o formato IFC). Neste estágio colaborações baseado no modelo da edificação podem ocorrer dentro de uma ou duas fases do ciclo de vida do empreendimento. Exemplos disso podem ser vistos em trocas entre duas fases de projeto [PP ou DD] - como colaboração entre modelos arquitetônicos e

estruturais; trocas na forma Projeto-Construção de modelos estruturais e de aço [PC ou DC] e o intercâmbio na forma Projeto/Operação [PO ou DO] de modelos de Arquitetura e de manutenção de instalações. Segundo os autores, vale lembrar que trata-se de um modelo único, colaborativo, que precisa sustentar dados de geometria 3D para permitir trocas semânticas BIM entre duas disciplinas. Isso pode ser exemplificado por intercâmbios do tipo [DC – Projeto Construção] entre um modelo 3D orientado a objetos (exemplo Digital Project) e um banco de dados de cronograma (Primavera e MS Project, por exemplo) ou com um banco de dados de estimativas de custo realizadas por com auxílio de ferramentas específicas. Essas trocas permitem a realização de estudos 4D (análise de cronogramas) e 5D (estimativa de custo), respectivamente. Apesar da comunicação entre os agentes continuar assíncrona, características da fase Pré-BIM (como divisão de responsabilidades, disciplinas e fases do ciclo de vida do empreendimento) começam a desaparecer neste segundo estágio. Algumas alterações contratuais se fazem necessárias como ampliação de trocas baseadas no modelo 3D paramétrico e substituição de documentos baseados nos fluxos de trabalho. O Estágio 2 de Capacidade BIM também altera a "granulometria" da modelagem realizada em cada fase do ciclo de vida do empreendimento. Modelos construtivos mais bem detalhados substituem (de forma total ou parcial) modelos menos detalhados (SUCCAR, 2009a).

A Figura 9 foi utilizada por Succar (2009a) como forma gráfica de representar trocas de modelos 3D parametrizados entre diferentes disciplinas (A e B). Essas trocas, quanto à tecnologia BIM, podem ocorrer no formato proprietário ou por meio de formatos abertos (open BIM).

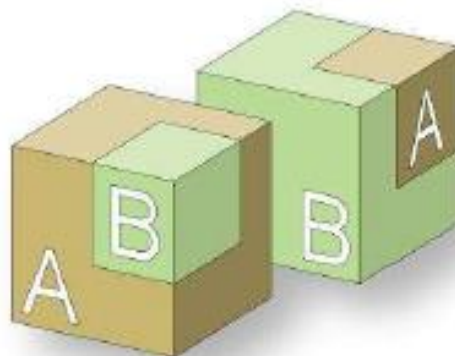


Figura 9 - Símbolo gráfico de representação do Estágio 2 de Capacidade BIM
Fonte: Succar (2009a)

2.5.4. BIM Estágio 3 – Integração Baseada em Redes

De acordo com Succar (2009a), no Estágio 3 de Capacidade BIM modelos integrados, semanticamente ricos, são criados, compartilhados e mantidos na forma colaborativa em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento. Essa integração pode ser alcançada por meio de tecnologias como servidores específicos para modelos (usando formatos proprietários, abertos ou não-proprietários); banco de dados individual, integrado ou federado, conforme Bentley (2003); computação em nuvem ou SaaS (*Software as a Service – Software como um serviço*).

De acordo com Lee *et al.* (2003), no Estágio 3 de Capacidade BIM o modelo do edifício se torna interdisciplinar e multidimensional (nD), permitindo análises virtuais complexas nos estágios iniciais de projeto e construção.

Para Eastman *et al.* (2008), banco de dados são destinados ao armazenamento e gestão de modelos e seus dados, por meio de *sites* hospedeiros, servidores internos ou trabalho em rede. Os autores ponderam que, da perspectiva BIM, servidores baseados em arquivos não possuem ligação ou não trabalha com modelos da informação da construção (*building information models*) ou objetos BIM inseridos nesses modelos; uma vez que estes servidores armazenam e dão acesso apenas em nível de arquivo.

A este nível de Capacidade BIM, Succar (2009a) afirma que o modelo BIM entregue ao cliente deve ir além das propriedades semânticas de objetos, de forma a incluir outras informações como inteligência de negócios, princípios de construção enxuta - Koskela (2000), políticas verdes e todo o ciclo de vida financeiro.

A Figura 10 representa a integração de modelos 3D utilizando uma tecnologia baseada em rede. Cada modelo disciplinar (representado pelas letras A, B, C e D) é parte integrante do modelo multidisciplinar resultante.

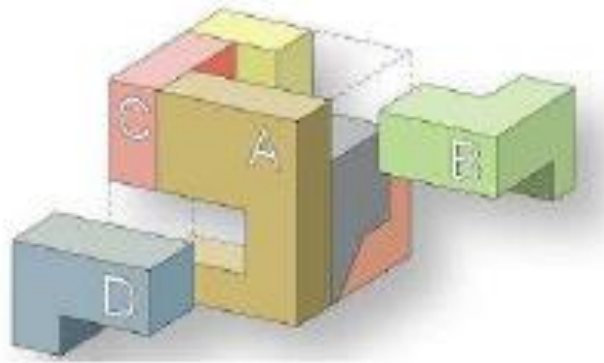


Figura 10 - Símbolo gráfico de representação do Estágio 3 de Capacidade BIM

Fonte: Succar (2009a)

2.5.5. Integrated Project Delivery

Succar (2009a) cita o conceito de *Integrated Project Delivery* – IPD, termo popularizado por AIA (2007), como o último nível de Capacidade BIM. O IPD não representa um estágio fixo de Capacidade BIM (como os níveis 1, 2 e 3), mas sim a evolução contínua de um modelo multidimensional, altamente integrado e compartilhado em tempo real entre diferentes servidores e fontes de conhecimento. Para o AIA o IPD é adequado para representação da visão BIM em longo prazo, representando uma fusão de tecnologias, processos e políticas empresariais.

De acordo com AIA (2007), o IPD visa à otimização dos resultados do projeto; ao aumento do valor agregado ao produto entregue ao proprietário ou cliente final e a reduzir o desperdício e, assim, maximizar a eficiência em todas as fases de projeto (*design*), fabricação e construção. De acordo com o referido instituto, a realização do IPD é necessariamente crítica para que a indústria da construção alcance um nível máximo de produtividade e eficiência. Neste contexto a integração da participação antecipada de construtores, fabricantes, instaladores, fornecedores e projetistas, bem como a possibilidade de se modelar e simular o projeto usando ferramentas BIM; permite que o projeto seja levado a um nível muito mais elevado de conclusão antes do início da fase de documentação.

Succar (2009a) salienta que a escolha do IPD como alvo final da implementação BIM não é, contudo, uma exclusão de outras visões que têm surgido com outras definições. Contrariamente a essa ideia, o caminho ilustrado, pelo autor, iniciando-se pelo estágio inicial e fixo "Pré-BIM", passando por três níveis bem definidos de Capacidade BIM (1, 2 e 3) até

chegar ao IPD, é uma tentativa de inclusão de todas as visões pertinentes ao BIM, independentemente das fontes que as originaram.

A Figura 11 representa a entrega e a contínua evolução de um modelo BIM multidimensional (3D, 4D, 5D, ..., nD) altamente integrado e conectado, em tempo real, a múltiplos bancos de dados e fontes de conhecimentos externos. Isso inclui redes de serviços de Sistemas de Gestão do Empreendimento; Sistemas de Informações Geográficas ou *Geographic Information Systems* (GIS); bancos de dados sobre custos, dentre outros.



Figura 11 - Símbolo gráfico de representação do IPD – Integrated Project Delivery
Fonte: Succar (2009a)

2.5.6. Steps BIM: do Pré-BIM ao IPD

Conforme mostrado na Figura 12, Succar (2009a) descreve, em passos evolutivos (*Steps A-D*), um caminho pelo qual empresas precisam trilhar para saírem do estágio Pré-BIM, percorrerem os estágios fixos BIM (níveis 1, 2 e 3) e alcançarem o último nível de Capacidade BIM – o IPD. Segundo o autor cada passo possui seus próprios requisitos e resultados relativos a tecnologias, processos e políticas BIM. Como supracitado, resumidamente o estágio Pré-BIM representa o status de empresas antes da implementação da tecnologia. Os níveis de Capacidade BIM 1, 2 e 3 são representados, respectivamente, estágios em que as empresas priorizam a **Modelagem** orientada a objetos; a **Colaboração** baseada no modelo simples do edifício e a **Integração da Cadeia de Suprimentos** com base em integração em rede. O último nível (IPD) representaria o objetivo final da implementação BIM.

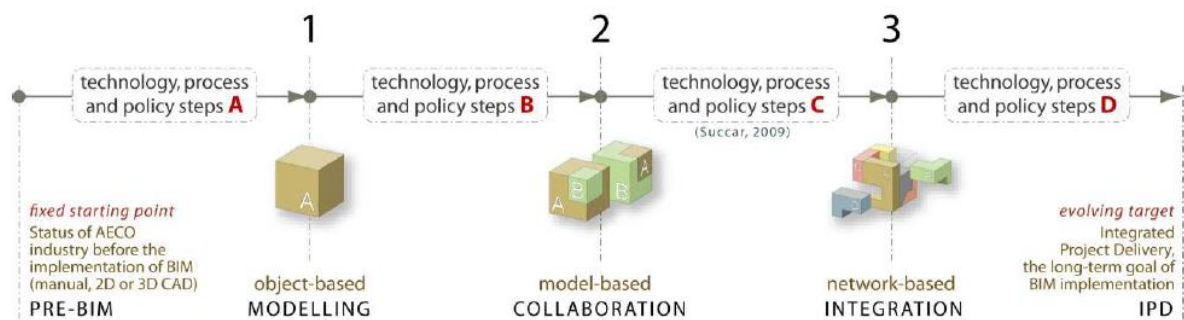


Figura 12 – Passos evolutivos entre os Estágios de Capacidade BIM

Fonte: Succar (2009a)

2.6. BIM Project Execution Planning Guide - Building Smart (EUA)

Dentre os modelos (protocolos) de adoção BIM, mais conhecidos internacionalmente, está o BIM Project *Execution Planning Guide*, um produto do projeto *BIM Project Execution Planning buildingSMART alliance* (bSa), sendo o bSa encarregado por desenvolver a norma *Building Information Modeling Standard* (NBIMS). O referido guia foi desenvolvido com o objetivo de fornecer um manual prático que pode ser utilizado por equipes de projetos para traçarem suas estratégias BIM e para desenvolverem um plano de execução de um projeto BIM. Um núcleo sobre conceitos de modelagem e troca de informações BIM tem sido projetado para complementar, em longo prazo, os objetivos do bSa, no desenvolvimento de um padrão que pode ser implementado na da indústria AEC, melhorando a eficiência e a eficácia da implementação BIM em projetos (CIC, 2011).

CIC (2011) reforça que, para que haja sucesso na implementação BIM, a equipe de projeto deve desenvolver um planejamento detalhado e abrangente. Um plano bem documentado de execução do projeto BIM irá assegurar que todas as partes envolvidas no projeto estejam claramente cientes das oportunidades e responsabilidades associadas à incorporação do BIM ao fluxo de trabalho de projeto. O completo plano de execução do projeto BIM deve definir os usos apropriados de BIM em um projeto (por exemplo, criação do projeto, *design review*, coordenação 3D, etc.) aliado a um plano detalhado e documentações do processo de execução BIM em todo o ciclo de vida da instalação. Uma vez criado o plano, a equipe de projeto poderá seguir e monitorar o seu progresso em relação ao plano, com o objetivo de extrair o máximo benefício da implementação BIM.

Conforme pode ser visto na Figura 13, o referido guia fornece um procedimento estruturado para a criação e implementação do plano de execução do Projeto BIM. Os quatro passos inseridos neste processo são:

- a) Identificação clara dos objetivos e usos BIM durante as fases de planejamento, projeto, construção e operação;
- b) Planejamento do processo de execução BIM por meio da criação de mapas de processo (fluxogramas);
- c) Definição dos “Entregáveis BIM” na forma de troca de informações;
- d) Desenvolvimento de uma infraestrutura na forma de contratos, procedimentos de comunicação, tecnologias e controle de qualidade para apoiar a implementação BIM.

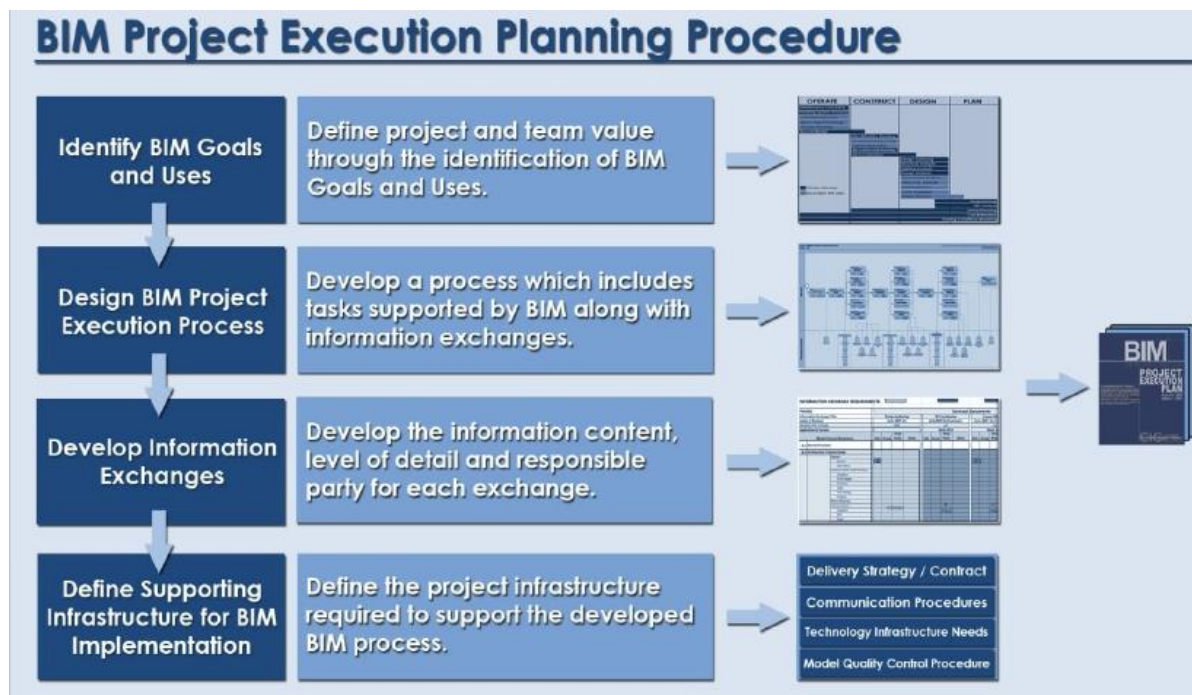


Figura 13 - Procedimentos para planejamento da Execução do Projeto BIM

Fonte: Adaptado de CIC (2011)

O objetivo ao se desenvolver este procedimento estruturado é estimular o planejamento e a comunicação direta pela equipe de projeto durante as fases iniciais do projeto. A equipe que conduz o processo de planejamento deve incluir membros de todas as organizações com um papel significativo no projeto já nas fases iniciais. Uma vez que não existe um único melhor modelo de implementação BIM, cada equipe deve, de forma efetiva, traçar uma estratégia de execução sob medida para entendimento dos objetivos e das características do projeto, bem como as capacidades dos membros da equipe (CIC, 2011).

2.6.1. Identificando objetivos e usos BIM

Segundo CIC (2011) um dos passos mais importantes do processo de planejamento é a definição clara do valor do BIM para o empreendimento e para os membros das equipes de projeto por meio da definição das metas globais para a implementação BIM. Essas metas podem ser baseadas no desempenho do projeto, incluindo itens como redução da duração do cronograma; alcance de maior produtividade em campo; aumento da qualidade; redução de custos e de alterações de escopo; ou obtenção de importantes dados operacionais para a instalação. Esses objetivos também podem estar relacionados com o desenvolvimento das capacidades e habilidades dos membros das equipes de projeto. Por exemplo, o proprietário pode querer usar a experiência com um projeto-piloto para ilustrar o intercâmbio de informações entre projeto (*design*), construção e operação; ou uma empresa de projeto poderia procurar obter experiência no uso eficiente de aplicações digitais. Uma vez definidos os objetivos mensuráveis BIM tanto do ponto de vista de projeto quanto da perspectiva de empresa, então os usos BIM no projeto podem ser identificados. Exemplos de usos BIM incluem autoria de projeto; modelagem 4D; estimativa de custo; gestão de espaços e representação precisa das condições físicas, do ambiente e dos ativos de uma instalação (*record modeling*).

2.6.2. Desenvolvimento do Processo BIM

Identificados os Usos BIM, um procedimento de mapeamento do processo para planejamento da implementação do BIM precisa ser executado. Inicialmente um mapa de alto nível mostrando o sequenciamento e a interação entre os usos BIM preliminares no projeto é desenvolvido. Isso permite que todos os membros das equipes de projeto entendam como seus processos de trabalho interagem com processos de outros envolvidos no empreendimento. Então, mapas de processo mais bem detalhados devem ser selecionados ou desenvolvidos pelos integrantes da equipe responsável por cada Uso BIM detalhado. O mapa de processo geral (nível mais elevado) deverá mostrar aspectos como a autoria BIM, modelagem de energia, estimativa de custo e modelagem 4D são sequenciados e inter-relacionados. Um mapa detalhado mostrará o processo detalhado que será realizado por uma ou mais organizações. Os mapas de processo servirão como base para a identificação de outros temas importantes da implementação BIM, como estruturas de contrato; requisitos dos entregáveis BIM, infraestrutura de TI e critérios de seleção de futuros integrantes da equipe (CIC, 2011).

De acordo com CIC (2011) uma das técnicas utilizadas para desenvolvimento de mapas de processos mais detalhados tem sido a linguagem BPMN – *Business Process Modeling Notation*.

2.6.3. Troca de Informações

Uma vez definidos os mapas de processo, as trocas de informações que ocorrerão entre os integrantes do projeto devem ser claramente identificadas. O entendimento claro do conteúdo das informações é de suma importância aos membros das equipes, principalmente para quem envia ou recebe os dados compartilhados. Para definição das trocas de informações os integrantes das equipes precisam entender que dados são necessários para realização de cada Uso BIM.

2.6.4. Definição de Infraestruturas de Suporte à Implementação BIM

Com os Usos BIM identificados, os mapas de processo realizados e as entregas BIM definidas, os agentes deverão desenvolver a infraestrutura necessária no projeto para suporte do processo BIM planejado. Questões como estrutura de entrega e linguagem do contrato, definição dos processos de informação, definição da infraestrutura tecnológica e identificação dos procedimentos de controle da qualidade deverão ser definidas. Essa última abordagem garantirá modelos de informação com alta qualidade.

2.6.5. Pilares BIM de acordo com o Building Smart

Os três pilares do BIM para o Building Smart são o IFC, o IFD e o IDM/MVD, conforme descrito a seguir (MANZIONE, 2013a):

- *Industry Foundation Class* (IFC) ou ISO 16739 – modelo de dados que preconiza o compartilhamento de dados BIM entre diferentes atores do processo de projeto;
- *International Framework for Dictionaries* (IFD) ou ISO 12006-3 – padrão de dicionário de dados para definição das informações que serão trocadas entre os *stakeholders*.
- *Information Delivery Manual* – (IDM) ou ISO 29481 – trata-se de um manual de informação para definição de processos de trocas de dados, com definição das informações que serão compartilhadas, inclusive com informações quanto ao momento em que essas trocas ocorrerão.

A Figura 14 ilustra os fundamentos da tecnologia Building Information Modeling (BIM) para gestão de dados, condições e processos, de acordo o buildingSMART (2015).

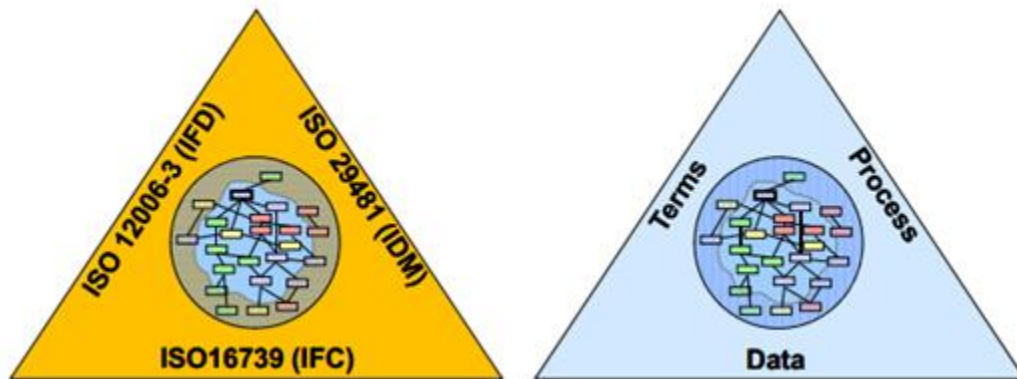


Figura 14 – Os Pilares da Tecnologia BIM pelo buildingSMART

Fonte: Adaptado de *Building Smart* (2015).

2.7. BIM Protocol - BIM Task Group (Reino Unido)

O *Building Information Modeling (BIM) Task Group*, criado em 2011, é um grupo de trabalho em BIM, por iniciativa governamental do Reino Unido; criado para dar apoio à entrega dos objetivos do programa intitulado *Government Construction Strategy*. O governo atual do Reino Unido criou este programa visando a reduzir os custos com construção estatais e, além disso, dar suporte e suprimentos à necessidade de fortalecimento do setor público na implementação BIM. Neste último caso a intenção é que todos os departamentos do governo adotem o BIM, no mínimo em seu Nível 2 de colaboração até o ano de 2016. Para se referir ao Nível 2 de colaboração BIM o referido grupo de trabalho discorre sobre “*gerenciamento de ambiente 3D realizado em ferramentas BIM de disciplinas distintas, com dados anexados*” (BIM TASK GROUP, 2011).

BIM Nível 2 seriam, também, dados comerciais gerenciados por plataformas de recursos empresariais. Integrações com base em interfaces proprietárias ou mediações entre diferentes plataformas utilizando-se *softwares* específicos, desenvolvidos para este único fim (*bespoke middleware*) poderia ser considerado como “pBIM” (proprietário). A abordagem pode utilizar dados de ferramentas 4D (cronogramas), 5D (custos) e/ou outros sistemas operacionais (BIM TASK GROUP, 2011).

De acordo com CIC (2013), como respostas às estratégias governamentais do Reino Unido, o grupo de trabalho *BIM Task Group* criou o Protocolo BIM (CIC/BIM Pro), sob incumbência

do órgão *Construction Industry Council*¹ (CIC). O referido protocolo identifica modelos de informação da construção que precisam ser produzidos pelas equipes de projeto e delimita obrigações específicas, responsabilidades e limitações associadas à utilização dos modelos.

O objetivo principal do CIC/BIM Pro é permitir a produção de modelos de informação da construção em estágios definidos de um empreendimento. Este protocolo está alinhado às estratégias governamentais e inclui disposições que suportam a produção e entrega ao cliente de documentações extraídas do modelo BIM em etapas fundamentais de gerenciamento. Isso garante a validação e o controle dos projetos. Todos os contratos gerados pelas equipes de projeto possuem, anexado, o protocolo BIM. Isso garantirá que todas as partes que estão produzindo e entregando modelos adotem as normas comuns descritas pela especificação, com objetivo final de atender às expectativas do governo (CIC, 2013).

A definição dos níveis de adoção da tecnologia ou Níveis de Maturidade BIM, de acordo com BIM Task Group (2011) pode ser mais bem compreendida pelos tópicos a seguir e/ou por meio da Figura 15.

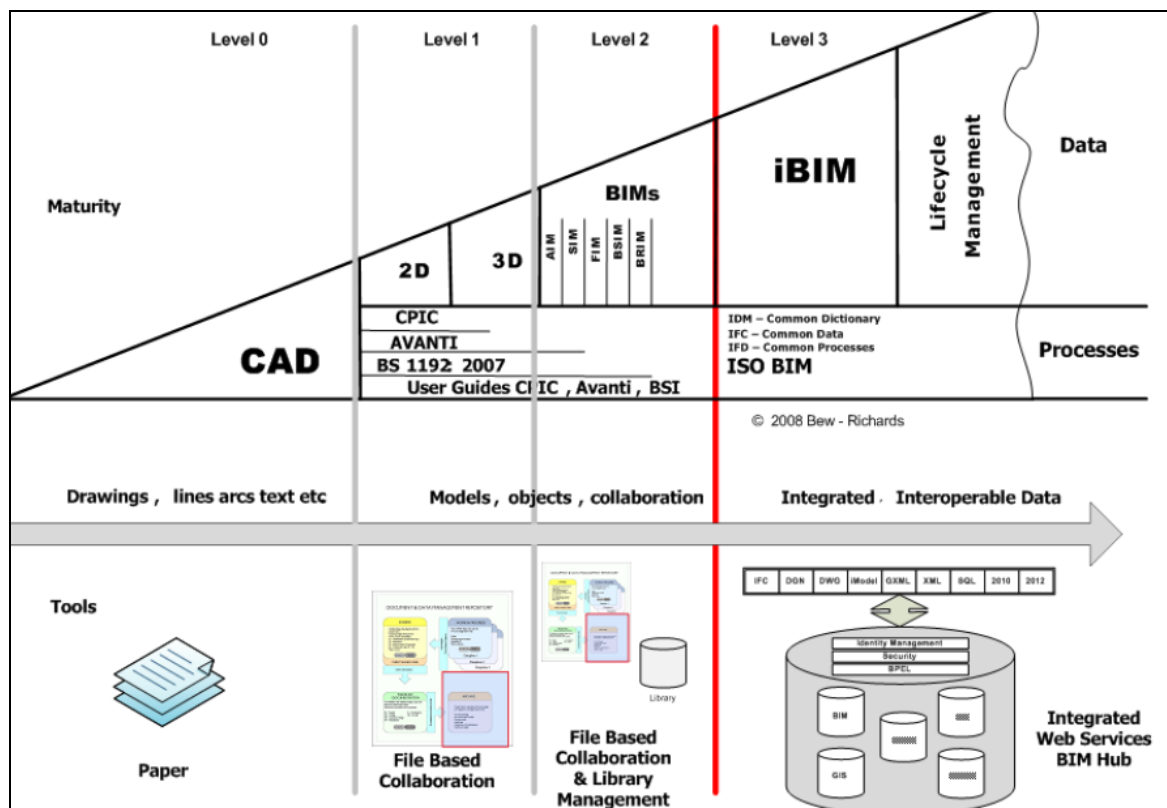


Figura 15 – Níveis de Maturidade BIM adotados pelo BIM Task Group

Fonte: BIM Task Group (2011)

¹ Para mais informações sobre o órgão Construction Industry Council, visite o web-site <http://cic.org.uk>.

Como pode ser visualizado na Figura 15, os níveis de maturidade BIM (do nível 0 ao 3) podem ser identificados, de acordo com BIM Task Group (2011), como descrito a seguir:

2.7.1. BIM Nível 0

Estágio de modelagem auxiliada por computador (CAD) sem gerenciamento, provavelmente na forma bidimensional, sendo o papel (impresso ou eletrônico) o mecanismo de troca de dados mais utilizado.

2.7.2. BIM Nível 1

Modelagem utilizando-se CAD 2D ou 3D, com uma ferramenta de colaboração proporcionando um ambiente de dados comum e, às vezes, algumas estruturas de dados e formatos padrão. Neste nível os dados comerciais são gerenciados por financiamento independente e a gestão de custos não é integrada.

2.7.3. BIM Nível 2

Neste estágio a modelagem acontece em ambiente 3D gerenciado, por meio de ferramentas BIM em disciplinas isoladas, com dados anexados. Os dados comerciais são gerenciados por ferramentas apropriadas. As integrações baseadas em interfaces proprietárias ferramentas desenvolvidas para este fim são consideradas pBIM (BIM proprietário). Pode-se fazer uso da modelagem 4D (cronogramas) e 5D (estudos de custos).

2.7.4. BIM Nível 3

Trata de processos completamente abertos com integração de dados suportada por *web services* compatíveis com os padrões IFC/IFD e gerenciado por servidores voltados a modelos colaborativos. Este nível poderia ser considerado iBIM (ou BIM potencialmente integrado) com emprego de processos de Engenharia Simultânea.

2.8. COBIM Senaatti - Finlândia

O projeto *Common BIM Requirements* (COBIM, 2012) é baseado nos requisitos BIM (*BIM Requirements*), publicado pelo *Senate Properties*, da Finlândia. O referido guia foi financiado pelo *Senate Properties*, além de empresas incorporadoras, construtoras e desenvolvedoras de

softwares do país. O buildingSMART da Finlândia também participou no financiamento do projeto. As especificações requeridas para projetos BIM foram compiladas pelo referido projeto em uma série de 13 (treze) documentos relacionados, nesta ordem, aos seguintes itens:

- a) Disposições Gerais;
- b) Modelagem em situações "de partida";
- c) Projeto Arquitetônico;
- d) Projetos MEP – Mecânica, Elétrica e Tubulações;
- e) Projeto Estrutural;
- f) Garantia da Qualidade;
- g) Levantamento de Quantitativos;
- h) Utilização de Modelos para Visualização;
- i) Utilização de Modelos para análises de projetos MEP;
- j) Análise Energética;
- k) Gerenciamento de Projetos BIM;
- l) Utilização de Modelos na Gestão de Instalações; e
- m) Utilização de Modelos na Construção.

A necessidade de compilação da série de requerimentos BIM - COBIM (2012) - surgiu a partir do rápido crescimento do uso da modelagem da informação da construção na indústria da construção civil da Finlândia. De acordo com o referido documento, durante todas as fases do projeto da construção, as partes envolvidas precisam definir com mais precisão do que antes o que está sendo modelado e a forma como a modelagem é elaborada. Os documentos são baseados nas instruções prévias do cliente final (proprietário) e nas experiências dos usuários, somadas à experiência que os especialistas de processos possuem em operações baseadas em modelos virtuais (COBIM, 2012).

De acordo com COBIM (2012) para que a modelagem do empreendimento seja bem sucedida, as propriedades e os objetivos específicos do projeto precisam ser definidos visando à elaboração do modelo e sua utilização. Objetivos BIM gerais incluem, por exemplo, os seguintes itens (COBIM, 2012):

- Prover suporte aos processos de tomadas de decisão quanto ao empreendimento;
- Ser uma base para que os envolvidos comprometam-se com os objetivos do empreendimento, por meio da utilização do modelo de informação da construção;
- Prover visualizações de soluções de projeto (design);

- Auxiliar a criação e coordenação de projetos (design);
- Aumentar e assegurar a qualidade do processo de construção e do produto final;
- Tornar os processos mais eficazes durante a construção;
- Melhorar a segurança na fase de construção e durante todo o ciclo de vida da edificação;
- Suportar análises de custos e do ciclo de vida do empreendimento;
- Suportar a transferência de dados de projeto dentro na gestão de dados na fase de operação.

Para COBIM (2012) os planos BIM ou planejamentos BIM precisam descrever as metas da modelagem da informação; as medidas de cooperação e garantia da qualidade; bem como as tarefas BIM e o conteúdo de informações que serão necessárias durante as várias fases do empreendimento.

2.9. Implementações de Sistemas BIM

Para Pan *et al.* (2011) a implementação de BIM requer suporte dos setores público e privado, bem como a investigação contínua de políticas, tecnologias e processos BIM, bem como refinamento contínuo das diretrizes BIM.

De acordo com Eastman *et al.* (2008) a liderança e o envolvimento do proprietário – aquele que controla a contratação dos projetos, o tipo de contratos e processos de entrega, além das especificações e requisitos globais de uma instalação – são pré-requisitos para a otimização do uso dos sistemas BIM em um empreendimento. A figura do proprietário pode valorizar ao máximo sua organização por intermédio de uma construção interna de liderança e conhecimento, selecionando, na contratação de serviços, projetistas com experiência e habilidade em BIM. A valorização da organização pode ainda ocorrer por meio de um processo de educação da rede de prestadores de serviços e mudança de requisitos contratuais.

Quando implementados de forma adequada, os sistemas BIM facilitam o desenvolvimento de projetos e de processos construtivos mais integrados que resultam em edifícios de melhor qualidade com menor custo e prazos construtivos reduzidos (EASTMAN *et al.*, 2008).

Para que a implementação e adoção dos sistemas BIM sejam eficientes, é imprescindível que haja uma mudança na forma de trabalhar do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), ou seja, uma mudança de cultura do setor precisa surgir. A evolução desse novo

conceito de projeção traz à tona a necessidade de revisão ou mudança dos processos de trabalho. As especialidades envolvidas no empreendimento devem trabalhar de forma colaborativa e não mais de forma isolada como ocorre atualmente. A implantação de ambientes colaborativos (ou extranets de projetos) com o objetivo de apoiar a gestão do processo de projeto no setor da construção civil é uma realidade que tem crescido em empreendimentos de todo o mundo (COELHO; NOVAES, 2007).

Segundo Andrade e Ruschel (2009) os sistemas BIM, em sua essência, exigem um avanço, tanto no que diz respeito às TIs (Tecnologias de Informação) quanto com respeito à cultura de trabalho dos profissionais da AEC. Se por um lado os profissionais da computação precisam desenvolver *softwares* mais robustos que sejam capazes de dar suporte à modelagem paramétrica – com um banco de dados atrelado ao modelo digital – e com interoperabilidade; por outro lado os profissionais do setor AEC precisam atentar para a necessidade de se trabalhar em conjunto, de forma colaborativa, em detrimento de um setor completamente fragmentado.

O conceito *Building Information Modeling* (BIM) traz, além da ideia da colaboração entre os profissionais do setor de AEC, o conceito da interoperabilidade. O problema se encontra no fato de que os profissionais desse setor pouco exploram os recursos que as plataformas BIM oferecem para a colaboração entre os agentes no processo de projeto. Além disso, se os *softwares* BIM não forem robustos no que diz respeito à interoperabilidade, a colaboração e cooperação entre as especialidades podem se tornar ainda mais difíceis (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

De acordo com Tse e Wong, *apud* Crespo e Ruschel (2007) *Building Information Modeling* vai além da ideia de um modelo de visualização do projeto. Ele é um modelo digital, alimentado por um complexo banco de dados que permite a parametrização, ou seja, possibilita incrementar informações ao projeto, além de sua capacidade de aumentar a produtividade e racionalização do processo de projeto.

Grilo e Gonçalves (2010) salientam que o uso das ferramentas BIM como um repositório central para o projeto de informação da construção é promissor e pode vir a revolucionar a gestão da informação de um empreendimento e todo o seu ciclo de vida. De acordo com os autores esses repositórios são locais de armazenamento onde pacotes de *software* podem ser

recuperados e instalados em um computador. O modelo pode permitir melhor acesso às informações do projeto, e dessa forma, facilitar a sua compreensão e controle. Nesse aspecto o sistema BIM pode se tornar uma poderosa ferramenta, uma vez que oferece um sistema de banco de dados baseado em objetos parametrizados.

Estudos desenvolvidos por Stehling (2012) - abrangendo 12 diferentes empresas de projetos de Belo Horizonte, sendo sete empresas de projetos industriais e 5 empresas de projetos residenciais e comerciais – mostraram que, no processo de implementação da tecnologia BIM, apenas cerca de 9% das empresas pesquisadas iniciaram a implementação da tecnologia com projetos inéditos. Os mais de 90% das empresas pesquisadas mostraram preferir a implementação dos sistemas BIM em empreendimentos cujos projetos tradicionais bidimensionais tenham sido desenvolvidos. Essa forma de trabalho, segundo o autor, permite que se façam comparativos entre as duas formas de projeção e possibilita um aumento progressivo da confiança na nova tecnologia por parte dos gestores e projetistas.

2.10. Diferentes abordagens para o uso BIM

Mooney *et al.* (1996) explicam que diferentes abordagens para o uso do BIM podem surtir efeitos diferentes que irão determinar o valor de negócio de tais abordagens. Esses efeitos, de acordo com os autores, podem ser: informacional, transformacional ou voltado à automação. Se processos de negócios, tecnologias e políticas forem bem organizados no sentido de facilitar a integração da cadeia de suprimentos para alcance dos efeitos transformacionais propostos pela entrega integrada do projeto ou *Integrated Project Delivery* (IPD), a produtividade das edificações industriais, serão significativamente melhorada, de uma forma geral. O IPD altera as tradicionais fases de projetos.

Para Eastman *et al.* (2008), no que diz respeito ao uso dos sistemas BIM, as questões gerais que vão aumentar ou diminuir as mudanças positivas oferecidas por esta tecnologia depende de quão bem e em qual estágio a equipe de projeto trabalha de forma colaborativa sobre o modelo digital.

O envolvimento integrado e antecipado de construtores, fabricantes, instaladores, fornecedores e projetistas, assim como a possibilidade de simulações do projeto por meio de ferramentas BIM permite que o projeto seja elevado a um nível muito mais alto de conclusões antes do início da fase de documentação (MOONEY *et al.*, 1996).

2.11. O âmbito da utilização BIM (Escopo BIM)

O escopo da utilização BIM descreve o ambiente dentro do qual os dados BIM são utilizados para colaboração. Isso consiste em duas dimensões de estudo: o número de organizações e o número de domínios. A tecnologia BIM pode ser utilizada dentro de uma única organização, compartilhando dados ou informações no nível desta empresa. Essas empresas utilizam BIM estritamente como uma ferramenta interna, e distribui as informações resultantes como desenhos e especificações tradicionais aos colaboradores. Alternativamente, BIM pode ser compartilhado por várias organizações, compartilhando arquivos em nível de projeto e em nível de projeto e da cadeia de suprimentos. Em nível de projetos, as firmas compartilham os dados baseados em BIM entre os agentes das diferentes equipes envolvidas no processo. A utilização do BIM no âmbito projeto-construção apela para o compartilhamento no nível da cadeia de suprimentos. Além disso, BIM pode englobar apenas um domínio ou, alternativamente, "n" domínios (nD). O uso interorganizacional de BIM em múltiplos domínios (nD) pode exigir um conhecimento muito mais avançado do que o uso em domínio único, dentro de uma organização. Qualquer BIM que suporta análises a partir das perspectivas de um número de diferentes domínios, como a gestão do espaço, gestão de custos ou gestão de construção, pode ser descrito como um BIM nD (PAN *et al.*, 2011, FOX; Hietanen, 2007).

Segundo Pan *et al.* (2011) o valor gerado por organizações, a partir de investimentos em inovações BIM, será determinado pela quantidade de mudanças uma organização está disposta a fazer em suas práticas de negócios existentes. Essas mudanças são referidas pelos autores como processo de reengenharia de negócios – *Business Process Re-engineering*.

2.12. Processos e Benefícios BIM

De acordo com o protocolo *BIM Execution Planing Guide* (CIC, 2011) o termo “Processo BIM” é um nome genérico utilizado para se referir à prática de se realizar BIM. Este processo pode ser planejado ou não. Além disso, pode ser referenciado como Processo de Execução BIM ou Processo de Execução de Projeto BIM. O Processo de Planejamento de Execução do Projeto BIM sugere diagramação do processo BIM utilizando-se, para isso, mapas de processo - um diagrama de como o BIM será aplicado ao projeto. Esse mapa pode ser geral ou detalhado.

Taylor e Bernstein (2011) afirmam que uma compreensão mais aprofundada de como os paradigmas BIM se desenvolvem em redes interorganizacionais de projetos permitirá que arquitetos, engenheiros, fabricantes e contratantes antecipem e acelerem a captura de benefícios associados a ferramentas e processos BIM.

Quando implementado de forma correta, BIM pode trazer diversas vantagens ao empreendimento ou instalação. Esse valor tem sido visto por meio de projetos bem planejados que têm tido diferentes benefícios, como aumento da qualidade do projeto (*design*) por meio de efetivos ciclos de análises; melhor pré-fabricação devido a estudos antecipados de condições de campo; melhoria da eficiência de campo (obra/montagem) por meio do acompanhamento do cronograma da construção; aumento da inovação no emprego de ferramentas digitais; e muito outros. Ao final da fase de construção, informações valiosas podem ser utilizadas pela operação da instalação para gestão de ativos; planejamento de espaço e planejamento de manutenções para melhoria do desempenho global da instalação. Portanto, há também exemplos de empreendimentos onde as equipes não realizaram o planejamento efetivo da implantação BIM que tiveram aumento de custos inerentes ao processo de modelagem, atrasos no cronograma devido à falta de informações, e pouco ou nenhum valor agregado. Implementações BIM requerem um planejamento detalhado e modificações fundamentais no processo para que os membros da equipe do empreendimento alcancem, com êxito, o valor das informações disponíveis no modelo (CIC, 2011).

2.13. Desafios na Colaboração e Formação de Equipes

Enquanto BIM oferece novos métodos para colaboração, ele introduz outras questões relacionadas ao desenvolvimento de equipes efetivas. A determinação de métodos que deverão ser utilizados para permissão do adequado compartilhamento de modelos da informação entre os agentes das equipes de projeto é uma questão significativa. Se o arquiteto desenvolve o projeto na forma tradicional (papel) o contratante deverá construir um modelo que possa ser usado para planejamento da construção, estimativas e coordenação. A criação de modelos após a conclusão de um projeto (*design*) adiciona custo e tempo ao projeto, mas isso pode ser justificado pelas vantagens da sua utilização para o planejamento da construção e projeto detalhado de Mecânica, Tubulações, etc.; resoluções de alterações de projetos e aquisições. Se os membros das equipes de projeto utilizam diferentes ferramentas de modelagens, ferramentas para movimentação do modelo de um ambiente para outro ou a

combinação dos diversos modelos são necessários. Essa questão pode adicionar complexidade e introduzir potenciais erros ao projeto. Tais problemas podem ser mitigados utilizando-se normas IFC para troca de dados. Outra abordagem trata-se da utilização de um servidor de modelo (*Model Server*) que possa comunicar com todas as aplicações BIM por meio do formato IFC ou normas proprietárias (EASTMAN *et al.*, 2008).

Para Eastman *et al.* (*op. cit.*) da mesma forma em que as disciplinas Arquitetura e Construção devem se comportar como atividades colaborativas, assim também devem ser as ferramentas que as suportam, ou seja, devem se interoperáveis.

Taylor e Bernstein (2011) afirmam que várias de pesquisas voltadas ao BIM têm focado o tema por uma perspectiva puramente tecnológica. Segundo os autores, muitos desses estudos científicos têm premeditado a analisar a melhoria da interoperabilidade entre tecnologias BIM ao longo das redes ou equipes de projetos, enquanto a interoperabilidade de práticas de negócios, que deveriam complementar a interoperabilidade tecnológica, tem sido largamente ignorada.

2.14. Modelagem Paramétrica baseada em objetos

A modelagem paramétrica baseada em objetos foi desenvolvida nos anos 1980. Essa modelagem não representa objetos com geometria e propriedade fixas, mas sim objetos com parâmetros e regras que determinam a geometria assim como algumas qualidades e propriedades não geométricas. Esses parâmetros e regras permitem que atualizações sejam feitas automaticamente de acordo com o controle do usuário ou mudança no contexto do projeto. Segundo Eastman os autores a modelagem paramétrica é usada por outras indústrias, diferentes do setor AEC, para desenvolver suas próprias representações de objetos e para refletir conhecimento corporativo e melhores práticas. Na Arquitetura, empresas que desenvolvem *softwares* BIM têm predefinido um grupo de famílias de objetos voltados à edificação, que podem ser estendidos, modificados ou receberem adições por parte usuários desses sistemas. Essas famílias de objetos permitem a criação de certo número de instâncias de objetos, dos quais as formas dependem de parâmetros e relação com outros objetos (EASTMAN *et al.*, 2011).

Para Eastman *et al.* (*op. cit.*) o conceito de objetos paramétricos é essencial para o entendimento do conceito BIM e sua diferenciação dos tradicionais objetos 2D. Os objetos paramétricos BIM, segundo o autor, são definidos da seguinte forma:

- consistem em definições geométricas e dados e regras associados;
- a geometria é integrada; não-redundante e não permite inconsistências. Quando um objeto é mostrado tridimensionalmente (3D), a configuração não pode ser representada internamente de forma redundante, como por exemplo, múltiplas vistas bidimensionais (2D). Um plano e uma elevação de um dado objeto devem ser sempre consistentes. As dimensões não podem ser falsificadas;
- as regras paramétricas ligadas aos objetos modificam automaticamente as geometrias associadas quando inseridas em um modelo digital ou quando mudanças são feitas em objetos associados. Por exemplo, uma porta se encaixa automaticamente a uma parede; um interruptor de luz irá localizar-se automaticamente ao lado correto da porta, uma parede irá automaticamente redimensionar-se de acordo com a altura do teto ou telhado, etc.;
- objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação. Dessa forma pode-se definir uma parede bem como seus respectivos componentes. Os objetos podem ser definidos e gerenciados em qualquer número de níveis hierárquicos. Por exemplo, se o peso de um subcomponente de uma parede muda, o peso da parede também deve mudar.
- as regras paramétricas podem identificar quando uma determinada alteração viola a viabilidade do objeto, no que diz respeito à fabricação, tamanho, etc.;
- objetos têm a capacidade de ligar ou receber; transmitir ou exportar um conjunto de atributos, por exemplo, elementos estruturais, dados acústicos, dados energéticos, etc., para outras aplicações e modelos.

Ferramentas que permitem aos usuários produzirem modelos de construção que consistem de objetos paramétricos são consideradas ferramentas de autoria BIM (EASTMAN *et al.*, 2008). Segundo os autores as companhias deveriam ter a capacidade de desenvolver objetos paramétricos definíveis pelos usuários e bibliotecas de objetos para o controle customizado da qualidade e para estabelecimento das melhores práticas. Objetos paramétricos desenvolvidos para um determinado fim permitem a modelagem de complexas geometrias outrora impossíveis ou simplesmente impraticáveis com o auxílio das antigas ferramentas. Os atributos dos objetos são necessários para a interface com análises, eliminação de custos e outras aplicações, mas esses atributos precisam ser previamente definidos pela empresa ou usuário. A maioria das ferramentas BIM de projetos arquitetônicos permitem ao usuário

mesclar objetos modelados em três dimensões (3D) com seções desenhadas em duas dimensões (2D).

As ferramentas BIM atualmente variam de diferentes formas como: na sofisticação de seus objetos de base pré-definida; na facilidade que os usuários encontram para definir novas famílias de objetos; nos métodos para atualização de objetos; na facilidade de uso; no tipo de superfície que pode ser usado; na capacidade para geração de desenhos; em sua capacidade de operar um grande número de objetos e sua interface com *softwares* de outras companhias (EASTMAN *et al.*, 2008).

Segundo Eastman *et al.* (2008), cada plataforma BIM se apresenta de acordo com certas características como patrimônio, organização empresarial, família de produtos da qual esta plataforma pertence, se essa plataforma utiliza um único arquivo ou vários para cada projeto, seu suporte para uso simultâneo, interfaces suportadas, dimensão de sua biblioteca, classe geral de preços, sistemas de classificação de edifícios que a plataforma suporta, escalabilidade, facilidade na geração de desenhos, suporte para seções desenvolvidas em 2D, tipos de objetos e atributos derivados e a ainda a sua facilidade de uso. A aquisição de um *software* BIM não é uma compra comum. Quando um comprador leva consigo um *software* BIM para casa, neste pacote estão inclusas as capacidades atuais desse produto e ainda o caminho do desenvolvimento de melhorias que são liberadas regularmente, pelo menos uma vez por ano. A empresa, ao comprar o *software*, leva o produto atual assim como previsto no ato da compra e suas evoluções futuras. Além disso, o comprador leva para sua empresa um sistema de apoio, que é um complemento da documentação fornecida pelo usuário além de um suporte *online* dentro da ferramenta BIM.

2.15. Interoperabilidade entre ferramentas de autoria BIM

De acordo com Müller (2011) apesar da grande e recente evolução das Tecnologias da Informação (TIs) voltadas à construção civil, os sistemas nem sempre são suficientemente robustos ao ponto de darem suporte ao trabalho conjunto, ou seja, não são interoperáveis.

Nenhum simples computador pode suportar sozinho todas as tarefas relacionadas com projetos de construção e produção. A interoperabilidade retrata a necessidade de se compartilhar dados entre diferentes aplicativos, permitindo a interação e trabalho conjunto entre diferentes especialidades. A interoperabilidade é usada, normalmente, em trocas de

diferentes formatos de arquivos, como DXF (*Drawing Exchange Format*) e IGES que permite apenas trocas geométricas (EASTMAN *et al.*, 2008).

Para Eastman *et al.* (2008), projeto e construção de um edifício são atividades de equipe, e, cada vez mais essas atividades e especialidades são apoiadas e incrementadas por seus próprios aplicativos computacionais. Aliado à capacidade dos *softwares* BIM de suportarem geometria e disposição dos materiais, eles precisam ainda dar suporte a análises estruturais e energéticas, estimativa de custo e cronograma da construção além de questões de fabricação para cada sistema e muito mais.

A interoperabilidade identifica a necessidade de se passar dados entre duas aplicações e/ou entre múltiplas aplicações, para, em conjunto, contribuírem para a execução da construção. A interoperabilidade elimina a necessidade da repetição de entradas de dados gerados, além de facilitar os fluxos de trabalho e a automação no processo de projeto. A partir do final dos anos 1980, modelos de dados foram desenvolvidos para darem suporte ao intercâmbio de modelos de produtos e objetos entre diferentes indústrias, esforço esse liderado pelas normas internacionais ISO (*International Organization for Standardization*). As normas de modelos de dados são desenvolvidas tanto pelas organizações ISO quanto por esforços liderados pela indústria, ambos utilizando a mesma tecnologia, mais especificamente a linguagem de modelagem de dados *Express*.

Uma vez que a linguagem *Express* pode ser lida por computadores, esta possui múltiplas aplicações, incluindo um formato compacto de arquivo de texto, definições de esquemas em bancos de dados SQL (*Structured Query Language*) e orientados a objetos, bem como esquemas em XML. A interoperabilidade pode ocorrer de quatro maneiras distintas, a saber: links diretos (conexão integrada entre duas aplicações de diferentes desenvolvedores), formato proprietário (interoperabilidade entre aplicativos de uma mesma empresa desenvolvedora de software), formato público e padrões de trocas baseados em XML (EASTMAN, *et al.* 2011).

De acordo com Eastman *et al.* (2008) os dois principais padrões de compartilhamento de dados BIM são o IFC (*Industry Foundation Classes*) – para planejamento, projeto e gestão da construção – e o *CIMsteel Integration Standard Version 2* (CIS/2) – uma normalização voltada ao uso e fabricação do aço. Tanto o IFC quanto o CIS/2 podem representar geometria, relações, processos e materiais, desempenho, fabricação e outras propriedades, informações

essas necessárias ao projeto e produção, utilizando a linguagem EXPRESS. Ambas são frequentemente objetos de extensão, de acordo com as necessidades de cada usuário.

Eastman *et al.* (2011) salientam que os padrões IFC e CIS/2 são os dois principais modelos de dados do produto da construção (*building product data models*). Os autores colocam a ISO-STEP-15926 (ligada a processos de plantas industriais) como uma norma relacionada a esses padrões. Segundo eles esses três modelos representam diferentes tipos de geometria, relações, processos e materiais, desempenho, fabricação e outras propriedades necessárias ao projeto (*design*) e à produção.

Pelo fato da linguagem EXPRESS poder suportar aplicações com diferentes tipos redundantes de atributos e geometria, duas aplicações podem exportar ou importar diferentes informações para descrever um mesmo objeto. Esforços estão sendo feitos no sentido de padronizar os dados necessários para o intercâmbio de um fluxo de trabalho específico. Nos Estados Unidos o principal esforço é um projeto chamado NBIMS - *National Building Information Modeling Standard* (EASTMAN *et al.*, 2008).

O projeto NBIMS-US objetiva estabelecer as normas necessárias para promover a inovação em processos e infraestrutura voltados aos usuários finais para que possam, em todos os ramos da indústria da construção civil, de forma eficiente, acessar as informações necessárias para criar e operar instalações otimizadas. A casa deste projeto é o *BuildingSMART Alliance*, que contém as especificações e atividades de normalização do projeto NBIMS-US, assim como de toda a indústria de coordenação, alcance, adoção, divulgação e educação. Desenvolvido pela Aliança Internacional para Interoperabilidade ou *International Alliance for Interoperability* – IAI – o *Industry Foundation Class* (IFC) é um padrão global e interdisciplinar, associado à linguagem XML, para compartilhamento de dados em um formato independente de fornecedores, que dá suporte à modelagem da informação na construção e à troca de arquivos e informações entre diferentes plataformas BIM (EASTMAN *et al.*, 2008; ITO, 2007).

Ainda de acordo com Eastman *et al.* (2008), a interoperabilidade impõe um novo nível de rigor para a modelagem que as empresas ainda estão aprendendo a gerir. Outros formatos de visualização de modelos como PDF 3D e DWF, fornecem recursos que podem resolver alguns tipos de problemas de interoperabilidade. Tratando-se do suporte ao intercâmbio entre duas diferentes aplicações - devido ao grande volume de informações gerado -, existe uma

crecente necessidade de coordenação dos dados em vários aplicativos a partir de um repositório de modelos digitais de edifícios. Somente dessa forma uma consistente gestão dos dados e seus compartilhamentos poderão ser realizados.

Pela Figura 16, Eastman *et al.* (2008) mostram alguns diferentes formatos populares de trocas de dados e suas capacidades em termos de Geometria *versus* capacidade de modelagem (estrutura e inteligência). Os autores afirmam que as questões globais de interoperabilidade ainda não estão resolvidas.

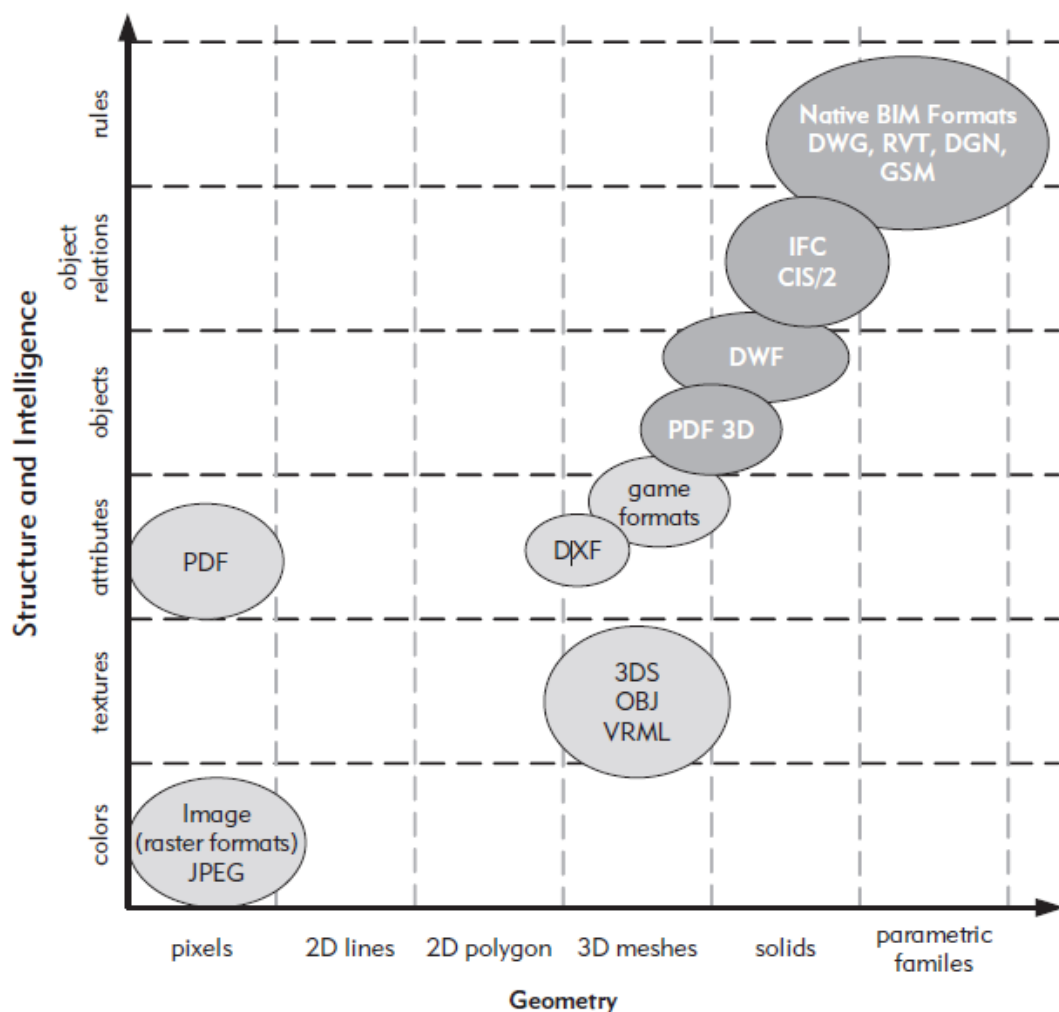


Figura 16 - Comparação entre diferentes formatos populares de troca de dados de acordo com a geometria suportada, seus atributos e associatividade.

Fonte: Eastman *et al.* (2008)

2.15.1. IFC – Industry Foundation Classes

Como citado por Manzione (2013a), os três pilares do BIM segundo o *Building Smart* são o IFC, o IFD e o IDM/MVD. Alguns profissionais do setor AEC acreditam que o padrão aberto

IFC e as normas públicas são a única forma de solucionar a questão da interoperabilidade entre ferramentas BIM, enquanto outros profissionais afirmam que o movimento das normas públicas para resolução de questões pendentes é muito lento e soluções proprietárias são preferíveis. Para os autores essas soluções podem sempre coexistirem, lado a lado, e todos os envolvidos no setor AEC são atores desta decisão; contudo os desejos dos proprietários e usuários irão sempre prevalecer (EASTMAN *et al.*, 2008).

Wix (2008) salienta que pelo IFC, o modelo não será composto apenas por geometrias (paredes, portas, janelas, etc.), mas também por informações abstratas (como processos, restrições, aprovações, etc.) e pelas relações (de agrupamento, associação, sequência, etc) entre esses itens.

O padrão de trocas de dados IFC é frequentemente citado como um meio pelo qual a interoperabilidade BIM pode ser alcançada. Várias aplicações de *softwares* BIM têm sido certificadas de acordo com o referido padrão, mas na realidade, trocas de dados por meio deste formato ainda apresentam falhas muito comuns. De fato, diversas experiências mostram que o objetivo da interoperabilidade ainda não foi alcançado, uma vez que o IFC, sozinho, não seria suficiente para suportá-la (SANTOS, 2009).

Segundo Wix (2008) "*o IFC não pode (e não tenta) especificar tudo na indústria da construção*". Para o autor o IFC se refere a identificação de itens físicos e ideias abstratas empregadas na indústria da construção, de forma que esses componentes e suas relações possam ser representados no modelo da instalação.

Santos (2009) reforça que, diferentemente do que pensa a maioria dos profissionais, IFC não é a única tecnologia necessária para se alcançar a interoperabilidade em BIM. Como citado pelo autor, por trás do IFC outras normas menos conhecidas podem trazer soluções para tornar a interoperabilidade entre ferramentas BIM uma realidade. Dentre elas estão o IDM, o MVC e o IFD. Juntamente com o IFC, esses padrões podem dizer COMO, o QUE e QUANDO as informações do setor AEC são compartilhadas, bem como o significado delas.

Segundo Manzione (2013a), juntos, IFC, IFD e IDM/MVD representam os pilares da interoperabilidade BIM de acordo com o Building Smart.

O IFC especifica COMO informações são compartilhadas (SANTOS, 2009). Traduzido na norma ISO/PAS 16739, o IFC é uma das poucas normas públicas reconhecidas internacionalmente para trocas de informações no domínio AEC (EASTMAN, *et al.*, 2008).

2.15.2. IDM/MVD – Information Delivery Manuals / Model View Definitions

De acordo com Santos (2009) o IDM especifica QUAIS e QUANDO informações do setor AEC devem ser trocadas. Para o autor, trata-se, essencialmente de uma metodologia aplicada na identificação e descrição de processos e informações relacionadas dentro do projeto da construção. O IDM indica a informação que precisa ser trocada usando o IFC. O que realmente importa na aplicação do IDM é a definição efetiva de quais dados são necessários em uma transação entre diferentes aplicações; como também a forma com que esta comunicação deve ocorrer.

A aplicação da metodologia IDM inicia com um mapeamento de processos de negócios relacionados à troca de dados específicos entre diferentes agentes e suas aplicações. Para confecção dos mapas de processo, Building Smart (2010) recomenda a utilização da notação BPMN (*Business Process Notation*).

Para Manzione (2013a), por meio dos mapas de processo descreve-se o fluxo das atividades de um determinado processo de negócios, permitindo a leitura e a compreensão da configuração de suas atividades. Por meio dele também é possível identificarem-se os agentes envolvidos no processo e as informações requeridas, utilizadas e reproduzidas. Esse mapeamento identifica o início e o término de cada evento inserido no referido processo, bem como os eventos onde ocorrem as trocas de informações e os momentos onde decisões devem e precisam ser tomadas.

O MVD, segundo Santos (2009), o MVD – Model View Definitions – é um metodologia utilizada principalmente para especificação de como as informações apontadas pelo IDM deve ser mapeada para as classes IFC.

2.15.3. IFD – International Framework for Dictionaries

O IFD especifica o QUE significam as informações trocadas. Trata-se de outra norma padrão ISO (ISO 12006-3). Com desenvolvimento iniciado em 1999, o IFD é utilizado para adicionar semântica a parte das informações contidas em um modelo BIM, propiciando o entendimento

e o processamento dessas informações, independentemente de sua linguagem ou nacionalidade (SANTOS, 2009). IFD é desenvolvido sobre a linguagem EXPRESS (MANZIONE, 2013a).

IFD não detém apenas a semântica relacionada ao material. Esse padrão não apenas faz um descritivo do material, mas também o traduz para diferentes idiomas, funcionando como um dicionário multilíngue. Em IFD cada nome é associado a um identificador exclusivo global – o *Global Unique Identifier* (GUID), permitindo ao computador "entender" o seu significado e ainda realizar pesquisas em catálogos de produtos e materiais, documentações de referências, especificações, etc. (SANTOS, 2009; MANZIONE, 2013a).

2.16. Colaboração BIM: Trocas de Informações quanto ao formato do arquivo e quanto aos modelos digitais

Para Eastman *et al.* (2008), as trocas de dados entre duas aplicações são tipicamente realizadas em uma das formas listadas abaixo:

- troca direta por meio de links proprietários entre ferramentas BIM específicas;
- troca de arquivos em formatos do tipo “proprietário”, principalmente voltado à geometria;
- troca de dados de um modelo em formato público ou aberto;
- Formatos de trocas na linguagem XML.

Os "links" diretos fornecem uma conexão integrada entre duas aplicações, geralmente chamada de interface do usuário do aplicativo. Um formato de troca de arquivos de padrão proprietário, normalmente é desenvolvido por uma organização comercial para realização de interfaces entre aplicações da própria empresa. Um formato de troca padrão proprietário bem conhecido é o DXF, da Autodesk. Outros formatos neste padrão incluem o SAT e o STL. Uma vez que cada um deles possui finalidades próprias, eles abordam capacidades funcionais específicas. Os formatos públicos de compartilhamento de dados envolvem o uso de modelos da construção de padrão aberto (open BIM) do qual fazem parte o IFC e o CIS/2, que representam duas das poucas normas de padrão abertas reconhecidas internacionalmente para intercâmbio de informações BIM. O XML - uma extensão do HTML, a linguagem básica da internet (web) - permite a definição da estrutura e do significado de alguns dados. A estrutura é chamada de esquema. Os diferentes esquemas XML apoiam o intercâmbio de muitos tipos

de dados entre aplicações. A linguagem XML é especialmente bem aplicável em transações de informações de pequenas quantidades entre dois aplicativos específicos (EASTMAN *et al.*, 2008).

Além dos quatro tipos de intercâmbio de informações citados por Eastman *et al.* (2008), existem ainda a troca de dados BIM por meio de **arquivos físicos com modelos separados**, de **modelos federados** e **de servidores de modelo**. No caso dos modelos separados, o intercâmbio das informações ocorre por meio da simples transferência do arquivo físico gerado pela ferramenta de modelagem por meio de mídias físicas, extranets, intranets ou repositórios via internet, como o Dropbox®, por exemplo (MANZIONE, 2013a).

De acordo com Lowe e Muncey (2009) o Modelo Federado se refere a um modelo geral composto pela "junção" de modelos distintos (de diferentes especialidades), ligados de forma lógica. Alterações feitas no modelo geral não refletem alterações nos demais componentes do modelo federado. Dessa forma um modelo federado pode ser criado basicamente a qualquer tempo, ligando-se qualquer número ou combinação de modelos gerados pelos diferentes participantes do projeto. O modelo federado pode ser utilizado para uma variedade de finalidades, incluindo, mas não se limitando a, detecção de interferências, comercialização (*marketing*) e manutenção de instalações.

A Figura 17 ilustra conceitualmente o Modelo Federado, de acordo com Manzione (2013a).

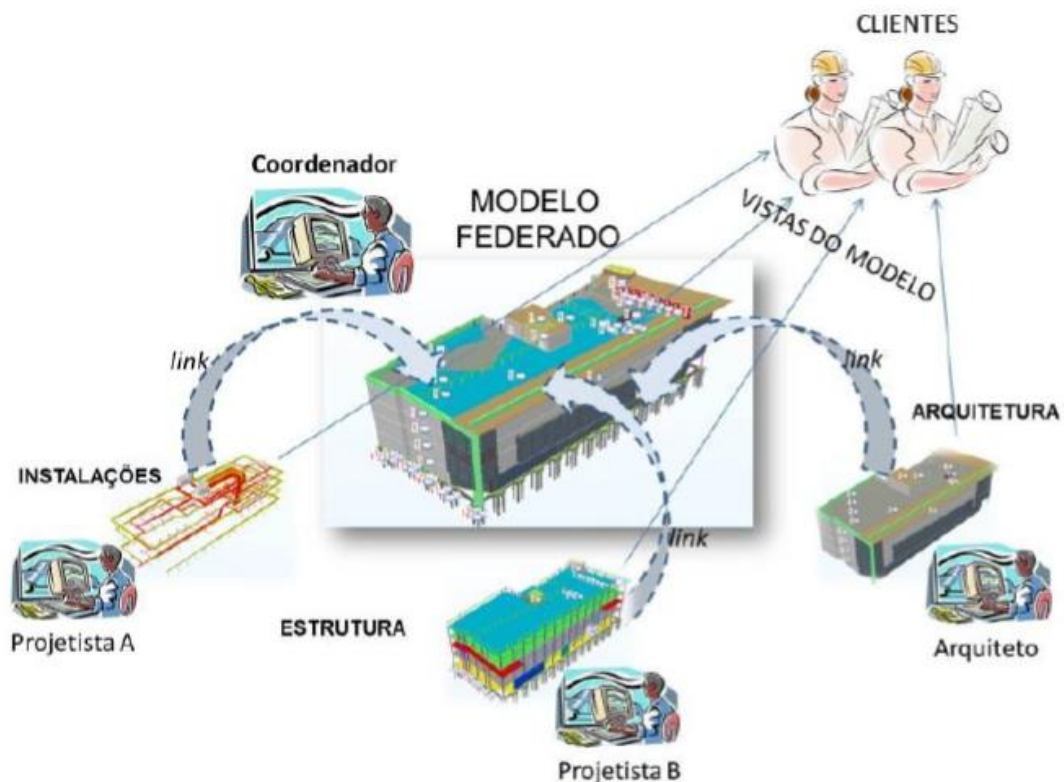


Figura 17 – Exemplificação de Conceito de Modelo Federado

Fonte: Manzione (2013a)

De acordo com Bentley (2003) o Modelo Federado (ou banco de dados federado), por definição, é um modelo lógico, mas distribuído em partes, de forma sincronizada, de diferentes lugares. Caracteriza-se por ser um sistema que permite que usuários e equipes continuem fazendo transações locais, utilizando-se métodos, ferramentas, dados e formatos que julgam ser mais produtivos, como também fornece controle centralizado para gerenciamento de conectividade e transações mais amplas.

De acordo com Manzione (2013a) os servidores de modelos objetivam suportar a comunicação e a colaboração entre as diferentes ferramentas utilizadas durante todo o ciclo de vida do edifício ou instalação. Os servidores de modelos ainda podem ser integrados a sistemas GED e outras aplicações via rede (internet), o que pode, segundo o autor, melhorar a colaboração, "*criando uma fonte unificada para o acesso e o compartilhamento de dados*".

A Tabela 3 ilustra, de acordo com Manzione (2013a), os diferentes mecanismos e formatos para troca de dados entre ferramentas BIM, em relação ao formato do arquivo ou em à plataforma ou modelo.

De acordo com o autor, em relação ao formato do arquivo, as trocas de informações BIM podem ocorrer via API (interfaces entre programas), por meio de formatos proprietários, por padrões abertos ou públicos ou baseados em XML (extensão da linguagem web HTML). Quanto à plataforma, as trocas podem ocorrer entre arquivos físicos de modelos separados, por modelos federados, por servidores de modelo via linguagem de padrão proprietário ou via servidores de modelo no formato IFC.

Tabela 3 - Diferentes mecanismos e formatos de troca de informações BIM

Trocas de acordo com o formato do arquivo	Trocas de acordo com a plataforma
Trocas através de API	Trocas de arquivos físicos de modelos separados
Formatos proprietários	Modelos federados
Formatos de exportação públicos	Servidores de Modelo em formato proprietário
Através de esquemas baseados em XML	Servidores de Modelo em formato IFC

Fonte: Isikdag e Underwood (2010) *apud* Manzione (2013a); Eastman *et al.* (2008)

Segundo Eastman *et al.* (2008) empresas desenvolvedoras de *softwares* preferem oferecer intercâmbios para empresas específicas, utilizando-se para isso os *links* diretos, pelo fato de poderem dar melhor suporte e evitar que seus clientes utilizem aplicações de seus concorrentes. Neste caso, a funcionalidade suportada é determinada pelas duas companhias ou por divisões dentro de uma mesma empresa ou grupo. O fato de serem desenvolvidas, depuradas e mantidas por ambas as empresas, torna essas ferramentas mais robustas, de acordo com as versões específicas e funcionalidade preterida. A interface resultante normalmente reflete um acordo comercial e se mantém enquanto a relação.

De acordo com Coelho (2008) empresas provedoras de sistemas colaborativos – extranets de projeto – para gestão de projetos no setor da construção civil têm investido em recursos que permitem a distribuição de modelos BIM mediante plataformas na internet. Dessa forma permite-se que nem todo o banco de dados necessários ao empreendimento esteja em *softwares* BIM, mas compartilhados entre os envolvidos por meio da rede internacional (*web*).

A empresa americana Onuma Inc. oferece um sistema – passível de acesso via internet - que possibilita o compartilhamento de modelos BIM, na direção BIM 3.0 (era pós-interoperabilidade), elaborados por meio de sistemas diversos, sendo que recursos para exportação de modelos para sistemas colaborativos, outros *softwares* e sistemas de arquitetura aberta, são oferecidos (COELHO, 2008).

De acordo com Eastman *et al.* (2011), enquanto as trocas de dados baseados em arquivos (*file-based*) ou em XML (extensão do HTML) facilitam o intercâmbio entre duas ferramentas, existe uma necessidade crescente para coordenação de dados entre múltiplas aplicações a partir de repositórios de modelos da construção (*building model repository*) ou repositórios BIM. Os repositórios BIM são servidores que integram e facilitam o gerenciamento e a coordenação de todos os dados relacionados ao projeto. Um aspecto crítico desses servidores, no entanto, é que eles permitem o gerenciamento de projetos em nível de objetos, em vez de suportá-lo em nível de arquivo. Um propósito fundamental dos repositórios BIM é dar suporte ao gerenciamento da sincronização entre múltiplos modelos que representam um projeto. Esses servidores se tornarão uma tecnologia comum para gerenciamento de projetos BIM em um futuro próximo.

Manzione (2013b) afirma acreditar que o trabalho de desenvolvimento de projetos em nuvem computacional (*clouding computing*) apresenta vantagens em relação à elaboração de modelos via servidores físicos. De acordo com o autor, um *software* de modelagem BIM pode ser instalado e operado em *clouding computing*. Neste caso, dispensam-se a aquisição de hardwares, de servidores e de licenças de *softwares*. O autor salienta, entretanto que a baixa velocidade da internet no Brasil, que não é adequada, pode ser um dos entraves à disseminação do modelo via nuvem no país. Neste caso a máquina deixaria de ser um fator limitador pelo fato de atuar apenas no sentido de visualização. O acesso à rede, portanto, limitaria a capacidade de acesso e processamento nestes servidores.

De acordo com Manzione (2013b), em função da questão da velocidade da internet no país, as empresas brasileiras precisarão optar pelos modelos federados ou por servidores de modelo para o compartilhamento de informações. De acordo com o autor, tanto os modelos federados quanto os servidores do modelo possuem prós e contras, porém, frente à realidade brasileira em relação ao BIM recomenda-se a utilização dos "modelos federados", que representam

modelos "ligados", com possibilidade de serem integrados por ferramentas como o Solibri ou o Navisworks.

2.17. O BIM e as Construções e Empreendimentos Industriais

São muitas as semelhanças entre *softwares* BIM e as ferramentas de modelagem paramétrica industrial. Eastman *et al.* (2008) citam a utilização da modelagem paramétrica por parte de outras indústrias para desenvolver suas próprias representações de objetos e para refletir conhecimento corporativo e melhores práticas. Os autores mostram que por uma questão lógica, ferramentas de modelagem paramétrica da disciplina Mecânica Industrial já foram adotadas pelo setor AEC. Segundo eles, o Digital Project, baseado no CATIA, é um exemplo óbvio disso; assim como a ferramenta Structureworks – de detalhamento de concreto pré-moldado – é baseada no Solidworks. Em outras áreas, como tubulações, fachadas e projetos de dutos em geral podem-se ver ferramentas de modelagem paramétrica de Engenharia Mecânica e ferramentas BIM - em nível de projeto e fabricação - ambas disputando o mesmo mercado.

Ainda segundo Eastman *et al.* (2008), o CATIA (da Dessault Systèmes) é uma ferramenta integrada, desenvolvida para companhias de Engenharia Aeroespacial, onde o agente responsável pelo projeto (*design*) também responde pela Engenharia, vendas e marketing. De acordo com os autores a utilização do Digital Project como um produto do consórcio CATIA e Gehry Technologies poderia ter semelhantes ramificações em Arquitetura, Engenharia e Construção em uma forma de contratação onde uma única empresa é responsável pelo projeto e pela construção (*Design-Build*).

Segundo Nawari (2012), todas as diferentes entidades que utilizam a tecnologia BIM no setor AEC e em construções industriais têm seus próprios vocabulários, nomenclaturas, geometrias, paradigmas de computação, formatos, esquemas de dados, escalas e diferentes pontos de vistas. Essas entidades incluem arquitetos, engenheiros, contratantes, proprietários e operadores de instalações e desenvolvedores de *softwares*. Essas diferentes organizações possuem, também, diferentes padrões e processos de negócios para os quais desenvolveram seus próprios procedimentos de entregas digitais. O autor cita a padronização BIM como uma forma de tratar esses problemas relacionados à diferença cultural de trabalho entre os diversos agentes desses processos. Segundo ele essa padronização torna-se uma questão crucial quando se trata da comunicação entre diferentes setores e disciplinas e da utilização BIM entre

diferentes indústrias. Essa padronização, segundo o autor, se refere a um esforço verdadeiramente internacional que têm crescido nos últimos anos.

Nawari (2012) salienta, entretanto, que as normas BIM ainda estão em sua infância e que a evolução e a maturidade desses padrões dependerão largamente dos esforços e contribuições das várias indústrias e disciplinas envolvidas em projeto (*design*), construção e gestão de instalações.

As organizações ISO (*International Standards Organization*) iniciaram um processo de estabelecimento de padronizações relacionadas ao BIM. De acordo com o autor essas normas incluem o IFC - *Industry Foundation Classes* (ISO 16739); a ISO 15926 (voltada a processos de plantas industriais); o IFD - *International Framework Dictionary* (ISO 12006-3) e o IFD - *Information Delivery Manual*. Os esforços citados e as várias atividades fazem referência à padronização BIM e têm sido adotados pelo NBIMS - *US National BIM Standard* (NAWARI, 2012).

Para Shen *et al.* (2009), com o rápido avanço das tecnologias da informação e comunicação, em especial a internet e tecnologias baseadas em *web*, vários sistemas de integração e tecnologias de colaboração têm sido desenvolvidos nos últimos anos e empregadas em diferentes domínios de aplicação, como na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção e na gestão de instalações (*facilities management* - FM). A integração dos setores de Arquitetura, Engenharia, Construção e *Facilities Management* é identificada pelos autores como indústria AEC/FM. Para os autores essas tecnologias ainda oferecem um conjunto consistente de apoio à colaboração criativa, ao gerenciamento, à disseminação e ao uso de informações através de todo o produto e do ciclo de vida do projeto. Além disso, dão suporte à integração de pessoas, processos, sistemas de negócios e informações, de forma cada vez mais eficaz.

De acordo com Halfawy e Froese (2002) o futuro da indústria AEC/FM estará cada vez mais focado nos aspectos de projetos multidisciplinares integrados. Para os autores, dadas as atuais tendências de integração na indústria, acredita-se que o desenvolvimento de sistemas de projetos integrados se tornará cada vez mais crucial para o gerenciamento e controle de projetos do setor AEC/FM. Os sistemas de integração de projetos mostram-se como um fator chave para redução do tempo do ciclo projeto/construção e melhorias da qualidade dos projetos.

Depois de muitos anos de pesquisa e desenvolvimento a indústria AEC/FM começa a abraçar e a adotar sistemas de *softwares* que suportem e promovam a os conceitos de integração e interoperabilidade (HALFAWY; FROESE, 2005, SHEN *et al.*, 2010).

2.18. Interoperabilidade entre Ferramentas BIM (AEC) e Ferramentas de Modelagem Paramétrica Industrial (Outras Indústrias)

Conforme citado por Shen *et al.* (2010) a interoperabilidade traduz a capacidade de certos dados - gerados por uma parte específica - serem corretamente interpretados por outras partes. Esse é o primeiro passo para qualquer integração de sistemas e colaboração. A tecnologia que permite a interoperabilidade de dados é a modelagem desses dados. Na indústria da construção os modelos de dados (*data models*) são chamados de modelos da informação da construção (*building information models – BIMs*). Esses modelos de dados podem ser classificados tanto como: de padrão proprietário - desenvolvido e controlado por fornecedores individuais - ou neutros (abertos) - desenvolvidos por uma iniciativa no formato de consórcio e disponibilizados para todos.

De acordo com Shen *et al.* (2010), devido ao grande número de parceiros multidisciplinares envolvidos em um projeto da construção nos últimos anos, a indústria AEC tem ativamente se empenhado no desenvolvimento de normas internacionais e industriais. Algumas normas são desenvolvidas especificamente para o projeto e especificações de edifícios, exemplo do IFC (ISO 16739). Outras se voltam à interoperabilidade de indústrias específicas, como a indústria do aço (por exemplo a CIS/2) e do concreto pré-moldado. De acordo com os autores, muitas dessas normas compartilham uma base tecnológica comum com a norma ISO 10303, conhecida como *Standard for the Exchange of Product Model Data* (STEP). Os autores citam os padrões IFC (ISO 16739), a norma CIS/2 e a ISO 15926 como as três maiores normas nesta área. A descrição desses padrões pode ser conferida nos itens que se seguem:

2.18.1. Norma CIS/2

A norma *CIMSteel Integration Standard* (CIS/2) é uma padrão industrial multifacetário para trocas de informações de Engenharia a construção em estruturas de aço. Este padrão suporta análise, concepção e detalhamento dessas estruturas, bem como a transferência de informações resultantes do projeto como apoio à fabricação. O modelo de dados do CIS/2 é chamado de modelo lógico do produto (LPM). Sua sexta versão (LPM/6), definida na

linguagem EXPRESS, possui harmonia completa com a norma STEP. A principal característica do padrão CIS/2 é a capacidade de capturar detalhes principais e secundários das estruturas de aço; informações completas de fabricação da estrutura e a análise estrutural do aço com diferentes combinações (SHEN *et al.*, 2010).

2.18.2. Norma ISO 15926

A norma STEP-ISO 15926-2:2003 - *Industrial Automation Systems and Integration - Integration of life-cycle data for process plants - including oil and gas production facilities* – especifica um modelo conceitual de dados para representação computacional e informações técnicas de processos de plantas industriais. Esta norma destina-se a apoiar as atividades de todo o ciclo de vida e o processo das principais instalações incluindo projeto conceitual e detalhado, análises, construção, operação, manutenção e até mesmo a desativação final dessas instalações. Na teoria, trata-se de um padrão abrangente a todos os tipos de instalações (industriais, comerciais, institucionais e residenciais) e para todos os aspectos dessas instalações (equipamentos, estruturas, construção, operação e manutenção, etc.). No entanto, a sua adequação para todas essas aplicações ainda precisa ser verificado, especialmente para edifícios residenciais. Assim como o padrão STEP, a ISO 15926 é uma das normas ISO TC184, que começaram o seu desenvolvimento, em 1992. Uma característica deste padrão é que ele pode empregar um repositório público no formato *work-in-progress* para conter os mais recentes dados da biblioteca de referência para este padrão. Um processo de registro é criado para permitir que os usuários adicionem dados de referência temporários adicionais para suas aplicações. Há um processo que coleta periodicamente essas extensões para o padrão. Desta forma, esta norma é sempre extensível e ágil. O padrão ISO 15926 usa a linguagem EXPRESS para definir seus modelos de dados. Para o compartilhamento de informação, esta norma utiliza padrões STEP como formatos de troca de arquivos e uma interface de banco de dados para gerenciamento de dados (SHEN *et al.*, 2010).

De acordo com Eastman *et al.* (2011), ISO-15926 aborda todo o ciclo de vida de uma instalação industrial (como processo de plantas industriais), desde o planejamento e o projeto às fases de manutenção e operação. Pelo fato de que o processo de "plantas" industriais se mantido de forma contínua, os objetos relacionados a esta norma são naturalmente 4D. Segundo os autores a ISO-15926 emergiu de um projeto anterior intitulado *European Community EPISTLE*.

2.18.3. O IFC como Norma ISO

De acordo com Eastman *et al.* (2011) o IFC tem uma longa história. De acordo com os autores em 1994 a Autodesk iniciou um grupo para assessorar empresas que pudessem suportar o desenvolvimento de aplicações integradas por meio da linguagem C++. Doze empresas norte-americanas aderiram ao grupo que inicialmente se chamou *Industry Alliance for Interoperability*. Com abertura para adesão de outros interessados em 1995, no ano de 1997 o grupo passou a se chamar *International Alliance for Interoperability*. A nova aliança foi reconstituída como uma organização internacional sem fins lucrativos, liderada pela indústria, com o objetivo de publicar o *Industry Foundation Class* (IFC) como um modelo neutro de dados do produto AEC de forma a representar todo o ciclo de vida de uma edificação. Esse padrão deveria ser baseado nas tecnologias ISO-STEP. Em 2005, considerou-se que o nome do IAI era muito longo e complexo para as pessoas pudessem entendê-lo. Em uma reunião na Noruega do Comitê Executivo, o IAI foi renomeado para buildingSMART.

De acordo com Liebich (2013) o buildingSMART é uma organização independente, internacional, sem fins lucrativos e aberto a todos os agentes do setor construtivo. Ainda de acordo com Liebich (2013) o IFC foi reconhecido como norma ISO no ano de 2003, recebendo o nome de ISSO-16739.

2.18.4. Harmonização de Sobreposições ou Interfaces Normativas na Construção

De acordo com Eastman *et al.* (2011) existem vários modelos de dados de produtos da construção (*building product data models*) com sobreposição de funcionalidades, todos utilizando a linguagem EXPRESS. Segundo os autores esses modelos variam em relação às informações AEC que representam e à utilização pretendida, contudo com sobreposições ou interfaces comuns. Por exemplo, o IFC (ISO-16739) pode representar geometrias construtivas, assim como pode a ISO-15926. Existe sobreposição entre o padrão CIS/2 e IFC no projeto de aço estrutural e a ISO-15926 sobrepõe o IFC nas áreas de tubulações e equipamentos mecânicos. De acordo com os autores, esses esforços, em grande parte, separados, terão de ser harmonizados. Esforços de harmonização estão sendo discutidos entre a ISO-15926 e o IFC, especialmente na área de equipamentos mecânicos, mas nenhuma medida tenha sido realizada.

Atualmente, esforços de harmonização de interfaces entre os padrões da construção como o IFC (ISO-16739) e a ISO-15926 podem ser vistos nos trabalhos de Liebich (2013) pelo *Building Smart*. De acordo como o autor, o IFC, que tem suas origens nos anos 1990, e que está e sua quarta versão (IFC4 ou IFC2x4) busca, em um futuro próximo, apoiar atividades construtivas de outros setores. De acordo com o autor o próximo passo deste padrão (o IFC5/ISO16739 2ª Edição) focará na harmonia de interfaces com outros setores industriais e infraestrutura em geral. Essa abordagem, segundo o autor, não será realizada apenas pelas normas IFC, mas em harmonia e colaboração com os grupos relacionados.

2.19. Algumas Ferramentas BIM e de Modelagem Paramétrica Industrial

2.19.1. Revit Architecture

A ferramenta BIM de projeto arquitetônica da Autodesk, *Revit Architecture*, pertence à uma família de produtos integrados que atualmente inclui *Revit Architecture*, *Revit Structure* e *Revit MEP*. A família de ferramentas Revit inclui: interface com o formato gbXML para simulação de energia e análise de carga; interface direta com ROBOT e RISA para análise estrutural além da possibilidade de importação de modelos do Sketchup da Google, uma ferramenta de modelagem conceitual, e outros sistemas que exportam formato DXF. Entre as interfaces para visualização estão os formatos DGN, DWG, DWF, DXF, IFC, SAT, SKP, AVI, ODBC, gbXML, BMP, PJP, TGA e TIF. A ferramenta da Autodesk baseia-se em seções bidimensionais como forma de detalhar a maiorias dos tipos de montagens (EASTMAN *et al.*, 2008).

Conforme citado por Goes (2011), o *Revit Architecture* é organizado na forma de famílias de objetos (*family*) e as variações dessas famílias, que são os tipos (*types*). As famílias de objetos paramétricos são os elementos construtivos digitais, tais como alvenaria, pilares, portas, janelas, piso, telhado, portas, etc. Os tipos são as variações desses objetos, de acordo com formato, dimensões, materiais, aplicabilidade, etc.

No entanto, esforços são necessários na direção da criação de objetos paramétricos adaptados à realidade brasileira, pois a maioria das famílias de objetos disponíveis nas ferramentas BIM do mercado foram criadas tendo-se a realidade do país de origem do *software* como base, no caso do Revit, os Estados Unidos.

Segundo Eastman *et al.* (2008) o *Revit Architecture* é o software mais divulgado no mercado mundial, além de se portar como atual líder de mercado no que diz respeito à utilização da tecnologia BIM em projetos arquitetônicos. A Autodesk, empresa detentora dos direitos autorais da ferramenta, introduziu o *Revit Architecture* no mercado em 2002 após ter adquirido o programa de uma empresa *start-up*. O Revit é uma plataforma completamente separada do AutoCAD com diferente base de códigos e estrutura de arquivos.

O Revit apresenta recursos de coordenação da informação entre os envolvidos no projeto via ambientes colaborativos (ambiente de rede *extranet*), processo que requer um planejamento das competências para acesso aos dados de forma a se evitar conflitos de informação e comunicação. O Revit, porém, apresenta problemas quanto à troca de informações entre as especialidades, uma vez que não suporta as comunicações interativas textuais entre os agentes envolvidos na colaboração, sendo necessária, para isso, a utilização de outro *software*, também da Autodesk, chamado Bussaw (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

Com o intuito de divulgar e promover o crescimento da adoção de sistemas de autoria BIM no Brasil, o governo federal, por intermédio do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, tem somado esforços para promover a difusão e a normalização BIM no Brasil. Pelo *Website* Construir Desenvolvimento - www.construirdesenvolvimento.com.br - arquivos de bibliotecas de arquivos digitais e *templates* BIM, na extensão RVT – Revit – são disponibilizados para *download* no referido sítio. Os objetos paramétricos vêm sendo desenvolvidos no padrão do programa do governo federal “Minha Casa, Minha Vida”, que visa beneficiar famílias de baixa renda na aquisição de imóveis para moradia. Objetos paramétricos como pisos (incluindo contrapisos), portas, janelas, caibros, terças, ripas, móveis em geral, elementos estruturais em concreto armado e em perfis metálicos como pilares, vigas e elementos de fundação são disponibilizados no endereço eletrônico supracitado. Além disso, está disponível uma biblioteca bastante desenvolvida de arquivos completos como pisos compostos, desde o contrapiso ao acabamento, telhados e lajes podem ser encontrados e baixados do referido site.

2.19.2. ArchiCAD

Eastman *et al.* (2008) cita o ArchiCAD como a mais antiga ferramenta de projeto arquitetônico BIM comercializada continuamente, que se tem hoje no mercado. Em seu livro Eastman diz que a Graphisoft, empresa que comercializa o ARCHICAD, começou a

comercializar o *software* nos anos 1980. Com sede em Budapeste, a Graphisoft foi recentemente adquirida pela Nemetschek, uma empresa alemã de CAD popular na Europa, com fortes aplicações em Engenharia Civil. Hoje, ARCHICAD continua servindo à plataforma Macintosh além do Windows. Recentemente lançou uma versão desenvolvida para a plataforma Macintosh denominada Mac OS X (UNIX). O ARCHICAD e o Vectorworks, *software* desenvolvido pela Nemetschek, são os únicos sistemas arquitetônicos CAD com modelagem orientada a objetos que “rodam” no sistema Apple Macintosh. ArchiCAD suporta uma gama de interfaces diretas, com Maxon para a modelagem de superfícies curvas e animação, ArchiFM para gestão de instalações e o Sketchup da Google. Possui interação com um conjunto de interfaces de energia e sustentabilidade tais como GBXML, Ecotect, Energy+, ARCHIPHISIK e RIUSKA.

A ferramenta BIM Archicad oferece modelagem paramétrica sólida e de superfície de objetos geométricos genéricos e de objetos BIM. O trabalho em equipe é suportado pela empresa Delta Server Technology. Uma das características notáveis do ArchiCAD é o explorador de edifício virtual (*Virtual Building Explorer*) que consiste em uma navegação 3D em tempo real reforçada com a Gravidade, acesso a elementos de informação (materiais, altura, custo, etc.), controle da camada, modo voar, reconhecimento de saída e orientações pré-gravadas. O ArchiCAD também inclui ferramentas que possibilitam realizar análise energética em tempo real e uma extensão MEP para modelagem de tubos, conexões, dutos, etc. (GEORGIA TECH, 2009).

Extensibilidade do ArchiCAD - no ArchiCAD os objetos paramétricos personalizados são essencialmente definidos utilizando a linguagem de programação GDL - Linguagem de Descrição Geométrica (EASTMAN et al., 2008; GEORGIA TECH, 2009).

A linguagem GDL oferece uma abrangente documentação necessária para descrever, de forma completa, elementos construtivos tais como símbolos CAD 2D, modelos tridimensionais, especificações textuais usadas nos desenhos, apresentações e cálculo de quantitativos, etc. Os objetos criados em GDL - similares aos blocos CAD, contudo paramétricos - podem também ser visualizados via *web*. Um objeto GDL é um recipiente de informações que transporta geometrias 2D e 3D, lógica do produto e comportamento, parâmetros, definições de materiais e uma interface com objetos específicos do usuário. Além dos objetos GDL, ArchiCAD permite que o usuário crie seus módulos. Arquivos de módulos

são objetos BIM paramétricos reutilizáveis armazenados como uma biblioteca de objetos ArchiCAD (GEORGIA TECH, 2009).

Objetos Básicos do ArchiCAD - O ArchiCAD suporta os seguintes objetos BIM: parede, fim de parede, porta, janela, janela de canto, teto solar, telhado, viga, coluna, escada, lâmpada, malha e região. Os usuários podem, ainda, criar objetos parametrizados utilizando a linguagem GDL (GEORGIA TECH, 2009).

Estrutura de arquivos do ArchiCAD - O ArchiCAD armazena os dados do projeto em um único arquivo ao qual vários membros da equipe de trabalho podem se inscrever. Os direitos de acesso multiusuário são tratados pela GRAPHISOFT BIM Server, uma tecnologia Delta Server. A GRAPHISOFT BIM Server permite sincronizar apenas de elementos de projetos alterados reduzindo, assim, drasticamente o tempo de sincronização.

Pontos fortes do ArchiCAD – Esta ferramenta possui uma interface intuitiva e é relativamente simples de usar. Possui uma extensa biblioteca de objetos e um rico conjunto de suporte a aplicações na construção e gestão de instalações (EASTMAN *et al.*, 2008).

Pontos fracos do ArchiCAD – A versão ArchiCAD 11.0 possui algumas limitações em sua capacidade de modelagem paramétrica, não suportando as regras de atualizações entre objetos em uma montagem ou aplicação automática de operações booleanas entre objetos (KHEMLANI, 2006).

Enquanto ArchiCAD é um sistema de memória e pode encontrar problemas de dimensionamento de projetos de grande porte, tem formas eficazes de gerenciar grandes projetos, podendo, de forma bem feita, dividi-los em módulos, a fim de gerenciá-los (EASTMAN *et al.*, 2008).

Formatos de arquivos próprios – o ArchiCAD possui as seguintes extensões inerentes ao próprio *software*:

- PLN – para geometria de projetos;
- PLC – para geometria de projetos com *login* e detalhes de reserva;
- PLA – para arquivos;

- 2DL – para rascunhos 2D;
- LBK – para o PlotMaker Layout – equivalente ao *Paper Space* do AutoCAD;
- PMK – para PlotMaker Drawing;
- MOD – para conteúdos reutilizáveis;
- TPL – para modelos ArchiCAD;
- GDL – para scripts ArchiCAD GDL;

Intercâmbio do ArchiCAD com outras ferramentas – O ArchiCAD importa e exporta os seguintes formatos de arquivos:

dwg, dxf, dwf, .ifc (2X2), ifcxml (2x3), dgn, emf, wmf.

Além dos formatos suportados pelo ArchiCAD a ferramenta ainda exporta o formato [.gbXML] via *plugin* (GEORGIA TECH, 2009).

A seguir estão listados os principais Plug-ins suportados pela ferramenta da Graphisoft.

Plug-ins, Add-ons ou add-in do ArchiCAD. Os *plugins* são programas de computadores usados para adicionar funções a um outro programa. De acordo Georgia Tech (2009) o ArchiCAD trabalha com os seguintes programas *plugins*:

Plug-ins de renderização:

- *ArtLantis* – para renderização fotorrealística, pela Graphisoft;
- *ArchiSketchy* – para renderização não fotorrealística pela Graphisoft;
- *Piranesi* – pela Informatix Software International.

Plug-ins de Modelagem:

Graphisoft MEP Models;

- *ArchGlazing* – modelagem de estruturas de vidro;
- *Cinema 4D* – tradutor bidirecional para ligação entre o ArchiCAD e CAD 4D;
- *FrameWright* – para modelagem de construções de madeira;
- *AchiWall* – para modelagem de paredes de forma livre;
- *ArchiTilse* – para modelagem e cálculo de telhas;
- *ArchiStair* – para modelagem de escadas.

Plug-ins para análises:

Os plugins a seguir são utilizados para realização de análises ambientais:

- *EcoDesigner* – para análise energética, pela Graphisoft;
- *VE-Ware* – para análise energética, pela IES (*Integrated Environmental Solutions*). Lê arquivos com formato .gbXML do ArchiCAD;
- *Ecotect* – para análise energética, pela AutoDesk. Lê arquivos com formato .gbXML do ArchiCAD;
- *Archiphysik* - para análise energética, desenvolvido pela empresa alemã A-NULL EDV GmbH.

2.19.3. Vectorworks Architect

O Vectorworks, *software BIM* para projetos arquitetônicos da empresa alemã Nemetschek, se apresenta ao mercado como uma ferramenta altamente personalizável, tanto no que se refere à modelagem bidimensional quanto à em três dimensões. É uma rica ferramenta de dados adequada para CAD e BIM (GEORGIA TECH, 2009). O *software* está disponível em sete pacotes destinados a diferentes aplicações, dentre elas a Arquitetura.

O *Vectorworks Architect* é uma ferramenta destinada aos profissionais do mercado arquitetônico em BIM. Este pacote inclui extensões para configuração do modelo avançado; planejamento do espaço arquitetônico; planejamento; apresentação; modelagem dos elementos estruturais e dos elementos MEP (Mecânicos, Elétricos e Hidráulicos), interoperabilidade BIM e modelagem da construção.

Além do pacote arquitetônico básico, que se destina-se à satisfação das demandas de modelagem em geral, o Vectorworks disponibiliza ao mercado outros seis pacotes, que são versões estendidas da versão básica, para diferentes aplicações. São elas:

- *Vectorworks Landmark* – destinado aos profissionais de Urbanismo e Arquitetura Paisagística. Inclui extensões avançadas para plantas de situação, modelagem digital do terreno pelo SIG (Sistema de Informação Geográfica, ou *GIS*); *Shapefiles* – um sistema vetorial de dados geoespaciais, projetos de ornamentação, planejamento e coordenação conjunta de projetos;

- *Vectorworks Spotlight* – trata-se de uma versão melhorada e atualizada do Vectorworks destinada aos profissionais teatrais, projetos móveis de iluminação para shows e planejamento de eventos. Inclui extensões para desenvolvimento de projetos altamente detalhados e controlados de iluminação teatral; simulação em 3D; exportação de sequências de controle de iluminação de painéis de controle; planejamento audiovisual e por fim apresenta um rápido e automatizado *layout* de móveis para aplicações de conferências, reuniões, etc;
- *Vectorworks Machine Design* – versão do Vectorworks destinada à documentação e detalhamento maquinário e estrutural. Inclui extensões para peças de máquinas, fixadores em duas e três dimensões (parafusos, porcas, rebites, grampos, etc.), projeto de vigas e notações mecânicas como símbolos de soldas, por exemplo;
- *Vectorworks Designer* – pacote que contém o subconjunto de todos os recursos das quatro ferramentas citadas acima;
- *Renderworks* – um pacote de renderização fotorrealística e não fotorrealística. Esse pacote faz conexão com qualquer outro produto Vectorworks e fornece renderizações integradas a partir da técnica de projeção *ray-tracing* dentro do projeto e do ambiente de apresentação. Isso inclui radiação e capacidades HDRI (*High Dynamic Range Image*), assim como aquarela, desenho, caricatura e renderização pictórica. Materiais e instalações de iluminação são integrados como atributos nos arquivos de modelo do Vectorworks. *Renderworks* só fornece mapeamento de textura e exposição de renderização de modelos.

Extensibilidade – o Vectorworks possui duas API's (Interface de Programação de Aplicações) de personalização: VectorScript, uma sintaxe Pascal e C++, baseado em SDK (Kit de Desenvolvimento de Softwares). VectorScript gerencia muitas funções de programação (especialmente gerenciamento de memória) para o programador. O C++ (baseado em API) proporciona muito maior flexibilidade em termos de estrutura de dados, ferramentas de depuração e acesso à infraestrutura do sistema operacional, mas, requer um nível muito mais elevado de experiência e conhecimento por parte do programador. Pela Interface de Programação API, o usuário pode criar elementos personalizados e aplicar atributos BIM para eles (GEORGIA TECH, 2009).

Objetos Básicos do Vectorworks – Vectorworks suporta vários objetos BIM como: superfície, parede, piso/laje, telhado, face do telhado, coluna, membros da estrutura, janela, escada, porta,

escada, rampa, elevador, corrimão, diferentes tipos de armários, escada rolante, dutos e ligações hidráulicas, tomada de energia, candeeiros, mesas, cadeiras, lareira, espaços e estacionamento, etc (GEORGIA TECH, 2009).

Formatos de arquivos próprios – De acordo com Georgia Tech (2009) o Vectorworks possui como próprio formato, para e qualquer projeto Vectorworks, a extensão [.vwx]. O Vectorworks pode fazer exportações compatíveis com versões mais antigas.

Intercâmbio do Vectorworks com outras ferramentas – O Vectorworks importa arquivos com as seguintes extensões:

- DWG, DXF, 3DS, IFC, VectorScript, IGES, SAT, X_T, SHP E SKP.

O Vectorworks exporta arquivos com as extensões .DWG, DXF, 3DS, IFC, VectorScript, IGES, SAT, STL E KML.

Estrutura de arquivos – A plataforma do Vectorworks suporta vários sistemas de arquivos para projetos desenvolvidos em trabalho de equipe. Os usuários geralmente criam uma série de arquivos os quais podem ser referenciados a partir de um arquivo maior. Quando da edição os usuários recebem o direito de acesso a um arquivo inteiro. Os arquivos referenciados requerem uma atualização para mostrar quaisquer modificações nas janelas de exibição. Os usuários têm a opção de armazenar arquivos referenciados dentro de arquivos do projeto. Os usuários podem ainda criar objetos personalizados no Vectorworks e inserir os dados do IFC para eles. O Vectorworks incorpora o formato IFC utilizando a estrutura de dados 2x3. Os objetos Vectorworks são salvos no formato de arquivo .vwx.

A Figura 18 apresenta a tela inicial do Vectorworks com as variadas opções de importação e exportação de arquivos com diferentes formatos, dentre elas os formatos DXF, DWG, PDF e IFC.

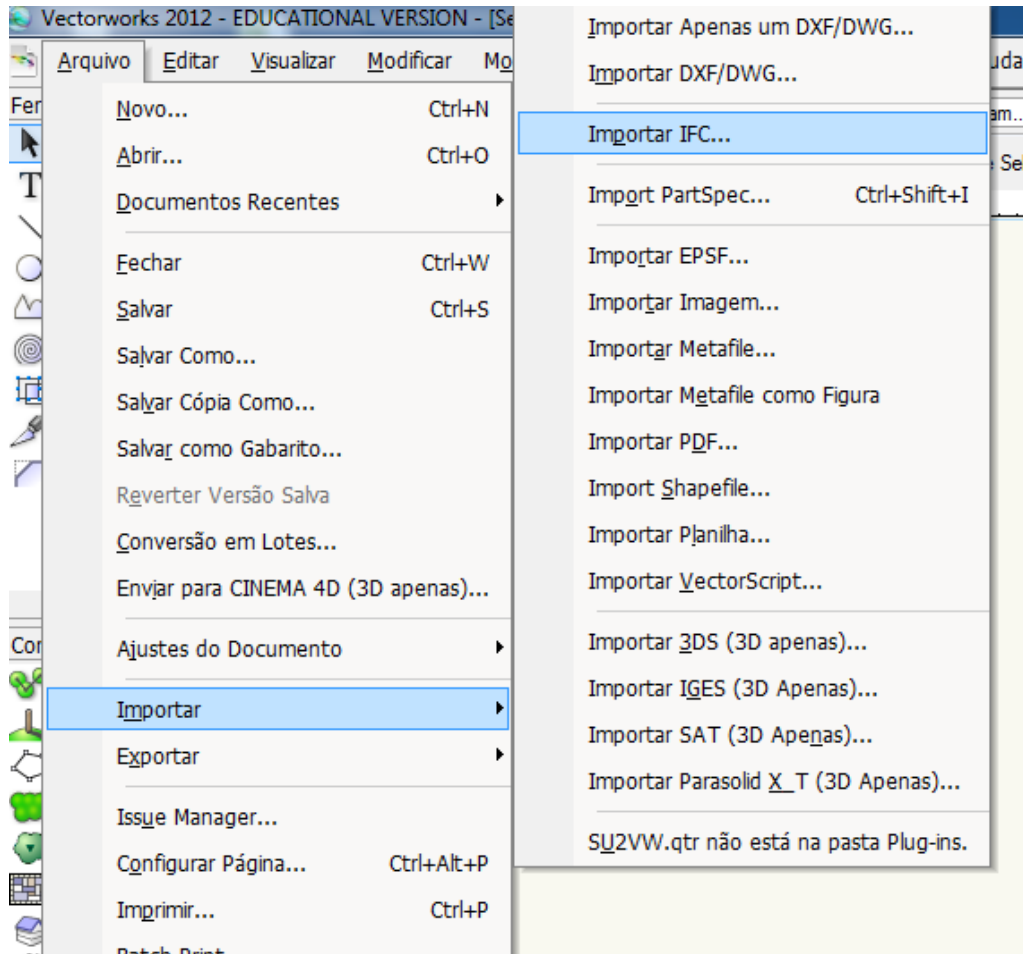


Figura 18 - Tela inicial do Vectorworks 2012 versão Educacional. No detalhe; a opção de importação em IFC.

Fonte: imagem gerada pelo autor deste trabalho

Plug-ins, Add-ons ou add-in – Segundo Georgia Tech (2009) o Vectorworks trabalha com os seguintes programas *plugins*:

Plug-ins de renderização:

- *Renderworks* – *plug-in* da própria Nemetschek para renderização fotorrealística e não-fotorrealística;
- *Cinema 4D Plugin* – programa, também desenvolvido pela empresa alemã Nemetschek, contendo as mesmas funções do *Renderworks*.
- *ArtLantis* – da empresa Abvent. Programa desenvolvido para realização de renderização fotorrealística.

Plug-ins para apoio à Modelagem do Vectorworks:

- *VisualMill* – pacote ideal para moldes, matrizes e maquinação em geral;

- *Windor* – programa para criação de janelas e portas paramétricas, simples e complexas;
- *3D Tubing* – para criação de formas tubulares tridimensionais;
- *VP Tools* – com várias ferramentas e comandos de apoio à modelagem.

Plug-ins para análises:

Plugins de apoio a análises ambientais - o Vectorworks inclui vários recursos de suporte à análise energética. Os dados da análise são apresentados em um relatório na forma de planilhas. Os usuários podem “manipular” valores dos elementos BIM – como portas e janelas, por exemplo – e observar, em tempo real, o desempenho energético da edificação.

Plugins para análise estrutural - Vectorworks utiliza, para este caso, o pacote chamado *Scia-engineer* – um programa da própria *Nemetschek*.

2.19.4. Bentley Architecture

É com uma vasta gama de produtos destinados à Arquitetura, Engenharia e Construção que os sistemas da Bentley se apresentam ao mercado. A ferramenta arquitetônica Bentley voltada à Arquitetura, *Bentley Architecture*, lançada no ano de 2004, é uma evolução que descende do Triforma. Totalmente integradas ao *Bentley Architecture* estão as ferramentas *Bentley Structural*, *Bentley Building Mechanical Systems*, *Bentley Building Electrical Systems*, *Bentley Facilities*, *Bentley PowerCivil* (para plantas de situação) e *Bentley Generative Components*. Como esses sistemas são baseados em arquivos, qualquer ação é imediatamente gravada no arquivo, fato esse que evita a sobrecarga da memória do sistema. Algumas empresas têm desenvolvido diversas aplicações no sistema de arquivo, sendo algumas incompatíveis com outras dentro da própria plataforma. Dessa forma, um usuário pode ter que converter formatos de uma aplicação Bentley para outra. As interfaces com aplicações externas incluem: Primavera e outros sistemas de planejamento; STAAD e RAM para análises estruturais. Suas interfaces são: DGN, DWG, DXF, PDF, STEP, IGES, STL, e o IFC. A Bentley também fornece um modelo repositório, multi-projetos e multi-usuários, chamado *Bentley ProjectWise* (EASTMAN et al., 2008).

O *Bentley Architecture* roda na plataforma *Bentley Microstation*. A ferramenta oferece uma série de ferramentas e funcionalidades BIM, incluindo, ferramentas de modelagem de sólidos e superfícies; aptidão para parametrizar e inserir regras para controle do comportamento dos

objetos e ainda posicionamento automatizado de paredes e acabamento de colunas (GEORGIA TECH, 2009).

Extensibilidade Bentley – Os usuários do *Bentley Architecture* podem criar células customizadas (objetos Bentley) com auxílio do *Parametric Cell Studio (PC Studio)*. O *PC Studio* é uma ferramenta de modelagem que permite que usuários do *Bentley Architecture* criem objetos paramétricos, componentes construtivos associados e montagens, tais como portas, janelas, escadas, telhados, vigas, corrimãos, dentre outros. A Bentley ainda conta com um sistema de dados chamado *DataGroup* que postado no *Bentley Architecture*, não só permite a associação de atributos definíveis pelo usuário pelos componentes do *PC Studio*, mas também orienta suas dimensões paramétricas e variáveis, permitindo um número ilimitado de variações.

Além disso, os usuários podem personalizar a plataforma *MicroStation* utilizando *MicroStation BASIC*, uma linguagem de script, ou *Microsoft Visual Basic for Applications (VBA)*. A Bentley recomenda a utilização do VBA. Também é possível estender a plataforma *MicroStation* via MDL (*MicroStation Development Libraries*), uma linguagem de programação baseada em C.

Objetos Básicos do Bentley Architecture – A Bentley disponibiliza objetos básicos para a ferramenta de Arquitetura como, colunas, telhados, paredes, portas, janelas, encanamentos, lajes, escadas, dentre outros (GEORGIA TECH, 2009).

Estrutura de arquivos Bentley – *Bentley Architecture* compartilha arquivos usando os arquivos de recursos da Bentley (*Bentley's reference files capabilities*) para distribuir, compartilhar e integrar subconjuntos do modelo virtual para um único modelo mestre. Dessa forma, os projetos podem estar contidos em um modelo único ou distribuídos em muitos modelos (GEORGIA TECH, 2009).

Pontos fortes dos sistemas Bentley – De acordo com Eastman et al. (2008), a Bentley oferece uma ampla gama de ferramentas de modelagem de edifícios, abrangendo quase todos os aspectos do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). As ferramentas Bentley suportam modelagens com complexas superfícies curvas, incluindo os modelos matemáticos Bezier e NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*). Isso inclui múltiplos níveis de suporte

para desenvolvimento customizado de objetos paramétricos, incluindo o *Parametric Cell Studio* e o *Generative Componentes*, - um *plug-in* de modelagem paramétrica que permite a definição de complexos conjuntos de geometrias paramétricas. Esta ferramenta tem sido utilizada para em muitos projetos de construção premiados. Bentley provê suporte para grandes projetos com muitos objetos.

Pontos fracos dos sistemas Bentley – Os sistemas da Bentley possuem uma grande interface de usuário não integrada; de difícil aprendizado e navegação. Seus heterogêneos módulos funcionais incluem comportamentos diferenciados do objeto básico, tornando difícil o aprendizado. Os sistemas Bentley possuem uma biblioteca de objetos menos extensa quando comparada às bibliotecas disponibilizadas pelas ferramentas similares. As deficiências na integração de suas diversas aplicações reduzem o valor e amplitude do apoio que esses sistemas fornecem individualmente (EASTMAN *et al.*, 2008).

Formatos de arquivos próprios – Os arquivos do *Bentley Architecture* possui as seguintes extensões:

DGN; DXF; DWG; CELL; DGNLIB – biblioteca de arquivos; RDL – *Redline files*

Intercâmbio do Bentley Architecture com outras ferramentas – Bentley importa e exporta os seguintes formatos de arquivos:

dxf, dwg, 3ds, gbxml, skp, 3dm, obj, iges, x_t, sat, step, stl, ifc(2x3) e dat.

Além disso, o *Bentley Architecture* ainda exporta extensões dos tipos .u3d, .wrl, .svg, .mxs, .kml, e .dae.

Plug-ins, Add-ons ou add-in dos Sistemas Bentley - De acordo Georgia Tech (2009) os sistemas Bentley trabalham com as seguintes extensões:

Ferramentas de renderização:

- *MaxwellRender* – para renderização fotorrealística;

Ferramentas de Modelagem:

- *Generative Componentes* – para geração de modelagem paramétrica;
- *Bentley Structural* – para modelagem de elementos estruturais;
- *Bentley Substation* – para modelagem de elementos de subestação elétrica;
- *Bentley WasteWater* – para criação de modelos detalhados de águas pluviais, sanitárias e sistemas combinados, mantendo a conectividade da rede fundamental;
- *Bentley Rebar* – para modelagem de detalhes de concretos e vergalhões.

Plug-ins para análises:

As ferramentas a seguir são utilizadas para realização de análises estruturais:

- *RAM Steel* – para análise e dimensionamento de estruturas de aço;
- *RAM Foundation* – para análise e projetos de fundações.
- *RAM Concrete* – para análise e projetos de estruturas de concreto.

2.19.5. Gehry Digital Project

O *Digital Project* (DP) foi inicialmente utilizado como uma aplicação interna à empresa *Gehry Partners*. O *software* desenvolvido para projetos arquitetônicos a nível BIM, suportado pela plataforma *CATIA Dassaut*, é hoje distribuído comercialmente pela empresa pela *Gehry Technologies* (GEORGIA TECH, 2009).

De acordo com Eastman *et al.* (2008) *CATIA Dassaut* é a plataforma de modelagem paramétrica mais amplamente usada no mundo para sistemas de grande porte nas indústrias aeroespacial e automotiva.

Segundo Georgia Tech (2009) existem muitas vantagens na implantação dos sistemas *CATIA*, que incluem:

- ***completa definição paramétrica*** – os usuários podem definir e parametrizar variáveis em nível de detalhamento geométrico;
- ***capacidade de lidar com formas complexas*** – os sistemas *CATIA* e o *Digital Project* são famosos por suas capacidades de dar suporte à modelagem de geometrias parametrizadas e complexas (como as superfícies NURBS, por exemplo). Eles têm sido

muito usados para desenvolvimento de projetos da construção naval, da aeronáutica e da indústria automobilística;

- ***método alternativo de armazenamento*** – os sistemas *CATIA* e o *DP* podem armazenar dados tanto como um arquivo de peças ou de produtos. Um conjunto complexo pode armazenar grandes quantidades de peças ou produtos (*parts or products*). Arquivos de peças ou produtos existentes podem também ser referenciados de outros arquivos com o objetivo de se aumentar a reutilização de peças já desenvolvidas. Seu gerenciador de arquivos pode suportar uma grande quantidade de peças e produtos juntos em um conjunto complexo;
- ***interoperabilidade com subsistemas*** – o *Digital Project* pode produzir informação para muitos subsistemas e não apenas objetos preliminares do projeto arquitetônico. Por se tratar de uma ferramenta BIM, o *DP* pode dar suporte ao projeto estrutural, MEP, e gerar documentos de auxílio à produção.

A estrutura lógica da plataforma *CATIA* envolve módulos chamados *Workbenches*. Até o terceiro lançamento da Versão 5, não havia objetos básicos embutidos no *DP*. Os usuários podiam reutilizar objetos desenvolvidos por outros, mas esses objetos não eram suportados pelo próprio *Digital Project*. Com a introdução do *Architecture* e do *Structures Workbench*, a *Gehry Technologies* agregou um valor significativo ao produto básico. Mesmo não sendo anunciado, o pacote *DP* vem com vários outros *workbenches* (bancos de trabalho): *Knowledge Expert*; *Project Engineering Optimizer* e o *Project Manager*. A ferramenta *Knowledge Expert* dá suporte à verificação do projeto, baseada em regras. O *Project Engineering Optimizer* permite, de forma fácil, a otimização de projetos paramétricos. Por sua vez, o *Project Manager* é utilizado para catalogar diferentes partes de um modelo de gestão e sua liberação. O *DP* possui interfaces com o *software* *Ecotect* para estudos energéticos (EASTMAN et al., 2008).

A interface do *DP* é embalada em várias bancos de trabalho que incluem, dentre outros: projeto, geometria, arquitetura e estrutura, projeto de montagem, *layout* de 2D para 3D, imaginação e forma; prototipagem rápida stl, sistemas de roteamento, simulação de montagem; visualizador de desenho, redação, anotações e dimensões 3D (peças), anotações e dimensões 3D (produtos), estúdio de fotografia, modelo aprofundado do produto, conhecimento especializado e biblioteca de materiais (GEORGIA TECH, 2009).

De acordo com Eastman et al. (2008) o *Digital Project* ainda suporta VBA scripting (*Microsoft Visual Basic for Applications*) e uma forte API (Interface de Programação de Aplicações) para desenvolvimento de *plug-ins*. O DP possui as classificações das normas americanas *Unifomat* e *Masterformat* incorporadas, o que facilita a integração de especificações para estimativas de custos. O software suporta os seguintes formatos de intercâmbio: CIS/2, SDNF, STEP AP203 e AP214, DWG, DXF, VRML STL, HOOPS, SAT, 3DXML, IGES e HCG. Em seu terceiro lançamento o *Digital Project* passou a suportar, também, o formato IFC.

O DP requer, para rodar bem, uma poderosa estação de trabalho, uma vez que dá suporte ao desenvolvimento de até mesmo os maiores projetos. Esta ferramenta dá suporte à modelagem de qualquer tipo de superfície, além de suportar a elaboração de objetos paramétricos customizados (EASTMAN *et al.*, 2008).

Em seu livro Chuck Eastman *et al.* (2008) cita, em termos gerais, alguns prós e contras do Digital Project a níveis BIM.

Pontos fortes do Digital Project – O DP oferece uma poderosa e completa capacidade para modelagem paramétrica. Esta ferramenta possibilita a modelagem de grandes e complexas montagens para controle de superfícies e montagens. Esta ferramenta conta com modelagem paramétrica tridimensional para a maioria dos tipos de detalhamento.

Pontos fracos do Digital Project – O Digital Project exige uma íngreme curva no processo de aprendizagem, possuindo uma complexa interface com o usuário e alto custo inicial. A ferramenta possui uma ainda limitada biblioteca de objetos pré-definidos e seus recursos de desenho para uso arquitetônico ainda não estão bem desenvolvidos.

2.19.6. DDS-CAD Architect

O DDS-CAD Architect - Data Design System voltado para projetos arquitetônicos - é uma ferramenta especializada para concepção de edificações residenciais. Não é projetado para ser o sistema geral de Arquitetura como o Revit Architecture, o ArchiCAD e o Bentley Architecture, por exemplo, mas é eficiente para alguns tipos de construção, como casas em madeira. Todas as funções estão disponíveis em um só programa. O usuário pode escolher entre plantas-baixas, vistas, cortes, modelo tridimensional ou qualquer ponto de vista

escolhido. Cotas e medias de ângulos podem ser tomadas a qualquer momento a partir de cada modelagem. O usuário pode definir os objetos usando diferenciação de cores, utilizando-se de *layers*. A ferramenta permite a criação de objetos por meio de linhas de referências definidas pelo usuário. Caso os objetos inseridos sejam paramétricos, o *software* exige cotas e posições coerentes com o modelo tridimensional. A ferramenta é compatível com diversos formatos, dentre eles DXF-2D, DWG-2D, IFC, SVF (*Serial Vector Format*), JPG, GIF (*Graphics Interchange Format*), VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), AVI, etc. Possui ainda integração para renderização por *ray-tracing*, além da capacidade de exportação de dados para o 3D Studio (DATA DESIGN SYSTEM, 2011).

2.19.7. Revit Structure

De acordo com Goes (2011) a ferramenta BIM estrutural da Autodesk é voltada a desenhos e documentações, permitindo a importação de modelos tridimensionais a partir de formatos CAD/DWG ou por conexões diretas com *Revit Architecture*.

Para Georgia Tech (2009), o Revit Structure é uma solução BIM aplicável a projeto e análise estrutural com ferramentas de apoio a modelagem de elementos estruturais como vigas, muros, paredes estruturais, telhados, lajes, colunas, treliças, etc. O *software* foi especificamente desenvolvido para desenvolvimento de projetos e geração de documentação voltada ao cálculo estrutural. A ferramenta se apresenta como um apoio à criação de um modelo estrutural que reflete exatamente as características do modelo físico. Os modelos estruturais criados a partir do Revit Structure comportam informações como cargas solicitantes, conectividade, propriedades dos materiais, etc., utilizadas como dados de entrada para a análise estrutural. Além das ferramentas internas de análise estrutural do *software*, os usuários do Revit Structure podem, a partir da ferramenta, exportar o modelo para outros *softwares* de análise estrutural. Por intermédio da ferramenta de destino o modelo pode ser alterado e exportado novamente do Revit Structure, obtendo-se atualizações automáticas do modelo original, como cortes, vistas e geração automática de documentação.

2.19.8. Bentley Structural

Assim como o Revit Structural, a ferramenta de Estruturas da Bentley é um exemplo que fornece os objetos básicos e relações comumente usados por engenheiros estruturais, tais como colunas, vigas, paredes, lajes, etc. Esses softwares são totalmente interoperáveis com os

objetos paramétricos de seus “irmãos” arquitetônicos, no que se refere a aplicações BIM. É importante notar, entretanto, que eles carregam uma representação dupla; a adição de uma representação idealizada da estrutura no formato “barra-nó”. Esses softwares também são capazes de representar cargas estruturais e suas combinações; além de representarem o comportamento abstrato de conexões. Esses recursos fomentam engenheiros com interfaces diretas para a execução de aplicativos de análise estrutural (EASTMAN *et al.*, 2008).

2.19.9. Navisworks

O Navisworks, *software* de coordenação da Autodesk, permite visualização de modelos e dados integrados e compartilhamento desses dados entre os *stakeholders* do projeto. Suas ferramentas de integração, análise e comunicação ajudam as equipes a coordenar disciplinas, resolver conflitos e auxilia o planejamento da construção nas fases de modelagem. A ferramenta atua no sentido de centralizar todas as informações de geometria 3D criadas em diferentes *softwares*, para composição de modelo único, com objetivo de facilitar a visualização do modelo integrado e possibilitar detecções de interferências, com capacidade de realização de simulações; além de possibilitar a aprovação das soluções de Engenharia das diferentes especialidades. Outras informações sobre esta ferramenta pode ser encontrada no website <<http://www.autodesk.com/products>>.

A ferramenta *timeliner* do Navisworks suporta, também, a modelagem 4D. A referida ferramenta permite a compilação de cronogramas relacionados ao modelo digital 3D, por meio do próprio Navisworks ou por meio da importação de cronogramas de outros *softwares*, como Primavera ou MS Project. Uma vez criado esse cronograma, suas tarefas podem ser associadas ao modelo 3D, gerando o modelo BIM 4D, por meio do qual animações ou simulações podem ser realizadas, permitindo a visualização dos efeitos do cronograma no modelo (AUTODESK, 2014).

De acordo com Eastman *et al.* (2011) o módulo de simulação do Navisworks inclui todas as características do ambiente de visualização da ferramenta; podendo suportar o maior número de formatos de BIM e possui as melhores capacidades globais de visualização. O módulo de simulação suporta ligações automática e manual de dados de cronogramas importados a partir de uma variedade de aplicações. Contudo, segundo os autores, os links manuais são tediosos e de difícil utilização, e, há poucos recursos 4D personalizados.

2.19.10. Triflex

O Triflex é um *software* de modelagem (design) e análise de *stress* de tubulação. A ferramenta de análise considera efeitos de tensão, temperatura, pressão, peso do sistema de tubulação, âncora e /ou movimentos de retenção, fricção, vento, eventos sísmicos, dentre outros. Na verificação da tubulação são calculados efeitos de deflexão, rotação, forças, momentos, cargas de equipamentos, análise da capacidade de carga do flange para verificação de fugas, etc. Outras informações a respeito deste *software* podem ser acessadas por meio do site <http://www.dms365.com/templates/en/second_444.html>.

2.19.11. SAP 2000 – Modelagem, Análise e Dimensionamento de Estruturas

O SAP 2000, pertence à companhia Computers & Structures, Inc., é uma ferramenta de suporte a modelagem, análise e dimensionamento estrutural (EASTMAN *et al.* (2011)). De acordo com os autores o SAP pode importar e exportar informações nos formatos IFC e CIS/2, e ainda possui links diretos para trocas de informações com o *Revit Structures*, da Autodesk, por meio do *plugin* CSiXRevit.

A ferramenta estrutural da companhia *Computer and Structures* possui compatibilidade de troca de dados via API (*Application Programming Interface*) com diferentes formatos, incluindo Visual Basic for Applications (VBA); VB.NET; C#; C++; Visual Fortran, Python e Matlab.

2.19.12. Tekla Structures

De acordo com Goes (2011), as ferramentas estruturais da Tekla abrange todo o projeto, com apoio ao detalhamento e todas as informações pertinentes à fabricação, principalmente no que se refere a estruturas metálicas; além de possibilitar, automaticamente, a geração de listas de materiais e desenhos de montagem e fabricação.

A ferramenta *Tekla Structures* é oferecida pela Tekla Corp., uma empresa finlandesa fundada em 1966 com escritórios em todo o mundo. Tekla possui múltiplas divisões: construção, infraestrutura e energia. A primeira ferramenta Tekla voltada à Construção foi o X-Stell, introduzido em meados dos anos 1990 vindo a ser, posteriormente, a ferramenta de detalhamento de estruturas metálicas mais largamente utilizada no mundo. Em resposta à demanda de fabricantes de estruturas de concreto armado da Europa e da América do Norte,

as funcionalidades do *software* foram estendidas significativamente para dar suporte às atividades de detalhamento voltado à fabricação de concreto pré-moldado e fachadas. Ao mesmo tempo, suporte para análise estrutural, pacotes de análises por elementos finitos e uma interface de programação aberta foram adicionadas. No ano de 2004 o *software* expandido foi renomeado *Tekla Structures* para refletir seu suporte generalizado a projetos de estruturas metálicas, concreto pré-moldado, estruturas de madeira e concreto armado. Além dos formatos abertos IFC e CIS/2, Tekla Structure dá suporte às extensões DWG, DTSV, SDNF, DGN E DXF. (EASTMAN *et al.*, 2011).

Ainda de acordo com Eastman *et al.* (2008) a ferramenta BIM Tekla Structure apresenta pontos positivos e negativos, como descrito a seguir:

- **pontos positivos** - a ferramenta da Tekla, além de propiciar modelagens estruturais que incorporam todos os tipos de materiais estruturais e detalhamento; dão suporte à modelagem de modelos digitais de grande robustez e a operações simultâneas em um mesmo projeto com múltiplos usuários. Suporta ainda compilação, em bibliotecas de arquivos, de complexas parametrizações de componentes personalizados;
- **pontos negativos** – todas as suas funcionalidades são bastante complexas de se aprender e de se utilizar plenamente. Seu potencial de modelagem paramétrica de instalações de componentes exige sofisticados operadores que precisam desenvolver altos níveis de habilidade. O *software* não é capaz de importar complexas superfícies curvas de aplicações externas, levando, às vezes, à necessidade de soluções alternativas, o que é relativamente caro.

Segundo o Georgia Tech (2009) o *Tekla Structures* é a primeira ferramenta estrutural de autoria BIM que abrange todo o processo do Projeto Estrutural, desde à modelagem conceitual ao detalhamento, fabricação e construção. Com ferramentas inovadoras, o *software* da Tekla fornece ao usuário a capacidade de projetar e criar inteligentes modelos virtuais do edifício, de qualquer tamanho ou complexidade, com facilidade e precisão. A ferramenta dá suporte à colaboração em tempo real entre usuários em todos os setores e fases do projeto, possibilitando a criação de um rico fluxo de informações apenas sonhado anteriormente.

Ainda de acordo com Eastman *et al.* (2011), o suporte do X-Steel (Tekla Structures) à troca de dados entre ferramentas acontece, em grande parte, baseada em arquivos. A ferramenta

pode suportar múltiplos usuários trabalhando no mesmo modelo de projeto dentro de um servidor.

2.19.13. PDMS Plant Design Management System

Conforme citado por Pereira (2012) o PDMS (*Plant Design Management System*) é uma ferramenta de automação de plantas industriais da empresa inglesa Aveva. Segundo o autor, pelo software podem-se gerar modelos paramétricos de equipamentos mecânicos existentes, por meio de imagens geradas mediante nuvens de pontos.

Em relação à interoperabilidade, Eastman *et al.* (2011) cita o PDMS como uma ferramenta capaz de importar dados nativamente do *software* Tekla Structures. Em seu estudo Stehling (2012) verificou que aproximadamente 14% das empresas desenvolvedoras de projetos industriais pesquisadas faziam uso do PDMS para elaboração de seus projetos.

O PDMS é um software para elaboração de modelos 3D paramétricos de plantas industriais com funções bastante abrangentes em relação à elaboração de modelos de instalações industriais, como projetos de redes de tubulações e alocação de equipamentos mecânicos. O ambiente de projeto 3D da ferramenta permite extração automática de relatórios e desenhos diretamente do banco de dados do software. A ferramenta PDMS pode importar informações de quaisquer ferramentas compatíveis com a norma ISO-15926 em relação à modelagem e composição de diagramas de tubulações (P&ID). Outras informações sobre esta ferramenta estão disponíveis no website da Aveva no seguinte endereço eletrônico: http://www.aveva.com/en/Products_and_Services/Product_Finder.aspx.

Empresas pesquisadas por Stehling (2012) informaram que apesar da complexidade em torno da interoperabilidade do PDMS, o software funciona bem sobre o banco de dados SQL, mantendo o histórico das alterações realizadas no modelo, identificando-as pelos dados do usuário, pelo dia e hora da alteração.

2.19.14. SmartPlant 3D Enterprise

A família Smart Plant 3D, da Intergraph, é uma ferramenta de apoio à modelagem de projetos industriais. O "conjunto" conta com diversos pacotes, como o SP P&ID (Tubulações), SP Electrical (Elétrica Industrial); SP Instrumentation (Instrumentação), etc. A ferramenta é

compatível com as especificações da norma ISO 15926, norma voltada à automação e integração entre ferramentas de modelagem industriais.

Outras informações a respeito deste software podem ser obtidas no endereço eletrônico <<http://www.intergraph.com/products>>.

2.19.15. Inventor

O software Inventor oferece suporte à elaboração de projetos (design), documentação e simulação 3D referentes aos equipamentos mecânicos industriais, utilizando duas linguagens nativas, a saber IPT (para peças) e IAM (para montagem). A Autodesk desenvolveu um ambiente de troca BIM – *BIM Exchange Environment* – por meio do qual o Inventor pode trocar informações com as ferramentas Autodesk de outras áreas, incluindo aquelas destinadas ao setor AEC por meio dos formatos de troca ADSK ou por meio da extensão da família Revit (.RFA).

Eastman *et al.* (2011) tratam o Inventor, da empresa Autodesk, como uma ferramenta de modelagem paramétrica de equipamentos mecânicos das indústrias manufatureiras e outras. De acordo com os autores, por ser mais útil, esta ferramenta é utilizada por algumas empresas para elaboração de modelos de perfis de alumínio utilizados na maioria das fachadas de vidro de diferentes edifícios. Revit pode fazer interface com o Inventor em relação a componentes de fabricação industrial, assim como faz com as ferramentas Autodesk de outros setores.

2.19.16. Civil 3D e Plant 3D

O AutoCAD Civil 3D da Autodesk é um software de Engenharia Civil que oferece suporte a fluxos de trabalho da modelagem da informação da construção (BIM). O software contém ferramentas de suporte a projetos de redes de pressão; sistemas de drenagem pluvial e esgoto; estudos topográficos; terraplanagem; layouts de terrenos; modelagem de pontes; modelagem geotécnica; dentre outros. Eastman *et al.* (2011) citam o Civil 3D como uma ferramenta de planejamento de campo, inserida na família AutoCAD que engloba versões específicas para Arquitetura, MEP, Elétrica, Civil 3D, P&ID e Plant 3D.

A ferramenta AutoCAD Plant 3D é destinada à elaboração de layouts de plantas industriais, gerando as chamadas "plantas de processo", isométricos, ortográficos e relatórios de materiais.

2.19.17. Solidworks

Conforme mostrado por Eastman *et al.* (2008 2011) por questões lógicas, ferramentas de modelagem industrial já são adotadas pelo setor da construção civil. O Solidworks, plataforma de modelagem paramétrica mecânica, segundo os autores, é utilizada por empresas projetistas do setor AEC para modelagem de perfis de alumínio para aplicação em fachadas de vidros de diversas edificações. A plataforma do Solidworks, inclusive, é base para o desenvolvimento do *software* Structureworks, para detalhamento de concreto pré-moldado.

A versão profissional da empresa *Dassaut Systèmes S.A.* possui ferramentas de apoio a gerenciamento de arquivos, renderização foto realística, estimativa de custo automatizada, desenho automatizado, verificação de projeto e biblioteca virtual de componentes e peças paramétricas. Além da ferramenta de modelagem, o Solidworks contempla as áreas de gerenciamento de dados do produto, simulação, desenhos esquemáticos elétricos integrados ao modelo 3D, dentre outras.

2.19.18. Bentley Microstation

A ferramenta Microstation da Bentley é destinada à elaboração de modelos paramétricos do setor AEC e Operações. A ferramenta dá suporte à modelagem 2D, 3D e modelagem da informação para Arquitetura, Engenharia, Construção, estradas, ferrovias, pontes, edificações, redes de comunicação, redes de água e esgoto, processos de plantas industriais manufatureiras, mineração, dentre outros. Para mais informações sobre a ferramenta, o seguinte website da Bentley pode ser consultado: <<http://www.bentley.com/pt-BR/products/microstation/>>.

De acordo com Eastman *et al.* (2011) o *Microstation Triforma Platform* é a base para desenvolvimento dos softwares Bentley Architecture e Bentley Structures. De acordo com os autores, a ferramentas da plataforma Microstation são sistemas baseados em arquivos, o que significa que todas as ações são imediatamente gravadas em um arquivo, resultando em baixo consumo de memória. O sistema se adapta bem. Além de suas ferramentas básicas de modelagem, a Bentley possui uma grande variedade de sistemas adicionais, muitos dos quais adquiridos em apoio dos seus produtos de Engenharia Civil. Esses sistemas incluem: *Bentley Speedikon Architectural; Bentley PowerCivil; RAM Structural System; RAM Steel; RAM Frame; RAM Connection; RAM Foundation; RAM Concrete; RAM Elements; RAM Concept;*

GEOPAK Civil Engineering Suite; Bentley Building Electrical Systems V8i para AutoCAD; Facility Information Management; ConstructSim; Bentley Power Rebar; Bentley Rebar; ProConcrete; STAAD Foundation; STAAD Pro; Bentley Building Mechanical Systems; Bentley Tas Simulator; Hevacomp Dynamic Simulation; Hevacomp Mechanical Designer.

2.19.19. Robot

O software de análise estrutural de estruturas industriais da Autodesk inclui simulação de construção e recursos de análise estrutural, tanto para estruturas simples quanto para complexas. As simulações de vento na estrutura podem ser realizadas com auxílio da ferramenta, tanto em banco de dados físicos como em nuvens computacionais. Pela ferramenta podem-se realizar análises lineares e não lineares de diferentes tipos de estruturas. A ferramenta possui colaboração por meio de link direto com a família Revit além de utilizar tecnologias de componentes do modelo baseados em objetos para uma API aberta e flexível. Outras informações a respeito deste software podem ser consultadas acessando-se o website da Autodesk no seguinte endereço eletrônico: <http://www.autodesk.com/products>.

2.20. Fluxo de atividades da Coordenação de Projetos na Indústria Imobiliária

No que se refere à coordenação de projetos, o Manual de Escopos de Serviços – da AGESP – identifica e distingue seis fases do processo de projeto, considerado desde a concepção à etapa de pós-entrega da obra, quais sejam:

- Fase A - concepção do produto;
- Fase B - definição do produto;
- Fase C - identificação e solução de interfaces de projeto;
- Fase D - detalhamento de projetos;
- Fase E - pós-entrega de projetos;
- Fase F - pós-entrega da obra.

De forma geral, de acordo com o referido manual, a coordenação deve atuar da seguinte forma em cada uma das diferentes fases do processo de projeto citadas:

- FASE A - fornecer apoio ao empreendedor na caracterização e definições do produto, bem como na definição das competências necessárias aos projetistas a serem contratadas para desenvolvimento do projeto do produto;

- FASE B – coordenar as atividades voltadas à elaboração do projeto, com definição das informações necessárias à viabilidade global do empreendimento;
- FASE C – coordenar e identificação as soluções necessárias às interfaces do projeto; esclarecendo os elementos necessários ao empreendimento e definindo as ações necessárias por parte dos agentes envolvidos no processo. O coordenador deverá zelar pela garantia de um projeto do produto onde as interfaces estejam resolvidas, com subsídios às análises dos métodos construtivos e estimativas de prazos e custos da construção;
- FASE D – coordenar o detalhamento de todos os elementos de projeto, garantindo um conjunto de documentos suficientes para uma completa representação dos serviços a serem executados;
- FASE E – garantir, por parte dos construtores, a compreensão e utilização das informações constantes do projeto; além de compor o desempenho do projeto em fase de execução;
- FASE F – coordenar a avaliação e a retroalimentação do processo; buscando envolver todos os envolvidos no processo; além de buscar ações de melhoria contínua em todos os níveis e atividades.

2.21. Etapas de Desenvolvimento de Projetos no Setor AEC

Para Melhado *et al.* (2006) projeto “*é um conjunto de atividades intelectuais que levam à concepção das exigências para a construção, das formas e dimensões do produto e de seus métodos construtivos*”. Segundo os autores, o projeto pode ser dividido - com uma visão geral e prática – em três etapas, sem, contudo, se prender às denominações mais comumente utilizadas pelo setor. Estas três etapas básicas seriam:

- Concepção das exigências para a construção;
- Concepção do Produto;
- Concepção da execução das obras.

Em uma pesquisa em que se fez comparação entre os cenários do Brasil e da França em relação à Gestão de Projetos de Edificações, Melhado *et al.* (2006) notaram que ambos os países ainda enfrentam problemas quanto à característica habitual de hierarquização sequencial nas atividades nos processos de projeto. Segundo os autores essa característica traz riscos à qualidade do projeto e ao empreendimento. Para os autores, a obtenção da qualidade

do processo de projeto pode ser obtida por intermédio de uma gestão integrada e colaborativa entre os vários entes envolvidos neste processo. Este envolvimento, segundo os autores, deverá se dar, inclusive, em todo o ciclo de vida da edificação para garantia da qualidade de todo o processo – do planejamento à construção. Contudo, para os autores, o alcance da qualidade do processo de projeto é claramente dificultado na organização hierárquica e sequencial tradicional e, por isso, faz-se necessária a busca por criação de modelos de processo de projetos simultâneos.

De acordo com Melhado *et al.* (2006), convencionalmente, o processo de desenvolvimento de projetos possui uma relação hierárquica entre o projeto arquitetônico e os demais projetos que compõem o edifício, além de tradicionalmente guardar uma característica sequencial. Este “desenho” sequencial e hierárquico do processo de projeto mostra-se, praticamente idêntico àquele citado por Fabrício *et al.* (1998). Nesse cenário, segundo os autores, a concepção dos empreendimentos, regida pelo projeto arquitetônico, é realizada, a partir de pesquisas de mercado, aquisições e aprovações legais e, somente após a complementação desta etapa inicia-se o lançamento do empreendimento no mercado. Uma vez completada essa etapa, dá-se início à contratação dos projetistas e, então o desenvolvimento do projeto. Além da referida hierarquia, neste cenário desenvolvimento dos projetos se dá de forma sequencial, fato esse que implica em pouca colaboração entre os diferentes projetistas envolvidos no processo de projeto. O resultado desta realidade é que a participação de todos os projetistas não ocorre de forma efetiva ao longo das diferentes etapas de desenvolvimento dos projetos, e, principalmente, na fase conceitual. Um fato ainda mais agravante é que a participação do cliente e da empresa construtora, praticamente inexistente nas etapas iniciais e de desenvolvimento do projeto. Somando-se a tudo isso, pesa, negativamente no processo, a influência do incorporador.

Maciel (1997) percebeu que a fase de concepção do empreendimento não ocorre dentro do processo de desenvolvimento do projeto, mas de forma separada, ou seja, o projetista de Arquitetura atua de forma prévia e sem a devida interação com os demais projetistas envolvidos no processo.

Fatores como, a ausência de coordenação do projeto; a falta de troca de informações entre escritório e obra; a incipiência do controle de qualidade durante o processo de projeto; o excesso de retrabalho no processo de projeto; o baixo grau de compromisso dos projetistas

com o escopo do cliente e a ausência de metodologias eficientes para composição do *briefing* de projeto; contribuem negativamente na qualidade dos projetos, que é desenvolvido com a ausência de uma visão do todo, cenário onde todas as necessidades do cliente final deveriam ter sido conhecidas, consideradas e analisadas (FABRÍCIO; MELHADO, 1998).

2.22. Projeto Simultâneo

Segundo Fabrício *et al.* (1998), visando o desenvolvimento de metodologias específicas de gestão da qualidade do processo de projeto, iniciou-se, no Brasil, no início de 1997, o Programa de Gestão da Qualidade no Desenvolvimento de Projeto na Construção Civil, sob coordenação do Centro de Tecnologia de Edificações – CTE. O programa foi criado a partir da integração e colaboração entre empresas de projetos de Arquitetura e Engenharia e representantes de empresas construtoras e incorporadoras, totalizando mais de vinte empresas. A partir desta colaboração entre os agentes, iniciou-se a discussão do fluxo de atividades do processo de desenvolvimento do projeto, buscando-se identificar os principais aspectos que afetam a qualidade do projeto; aspectos esses relacionados às etapas de concepção; desenvolvimento do produto; entrega do projeto; acompanhamento de campo e avaliação da satisfação do usuário final.

De acordo com o CTE (1998), *apud* Fabrício *et al.* (1998), esta discussão do fluxo de atividades do processo de desenvolvimento do projeto, com foco na qualidade do projeto, resultou na divisão do fluxo de atividades de desenvolvimento de projetos (técnico) em sete etapas, sendo a fase intitulada Planejamento Estratégico uma etapa que antecede às outras, um tipo de pré-requisito às outras fases, conforme pode ser verificado na Figura 19.

A etapa I, do fluxo desenvolvido pelo CTE (1998) precedida pela etapa de planejamento estratégico, foca o planejamento de empreendimentos, com o intuito principal de estudar a viabilidade de um produto. A próxima etapa deste fluxo, a etapa II foi denominada pelo CTE de concepção do produto. Nesta etapa o produto é caracterizado quanto a caracteriza o produto quanto a ambientes, processos construtivos, formas e geometria. O desenvolvimento do produto, propriamente dito, se dá na etapa III, sendo este subdividido em cinco estágios: anteprojeto; projeto legal; projeto pré-executivo; projeto executivo; e projeto para produção. O projeto *As Built*” ou “Como Construído” - que traduz o resultado final do empreendimento em comparação com o projeto – é desenvolvido na etapa IV. Por fim, na sétima fase, a VII,

faz-se uma avaliação da satisfação do cliente final, em vista à sua necessidade inicial – *briefing* de projeto.

Segundo Fabrício *et al.* (1998), esse fluxo de atividades de desenvolvimento do projeto ainda encontrava-se em discussão, uma vez que não há um consenso mútuo entre as empresas de arquitetura, de projeto de Engenharia e construtoras e incorporadoras quanto à nomenclatura das etapas e seus objetivos, principalmente durante a etapa III.

A Figura 19 ilustra o estudo do fluxo do processo de desenvolvimento de projetos desenvolvido pelo Programa de Gestão da Qualidade no Desenvolvimento de Projeto na Construção Civil.

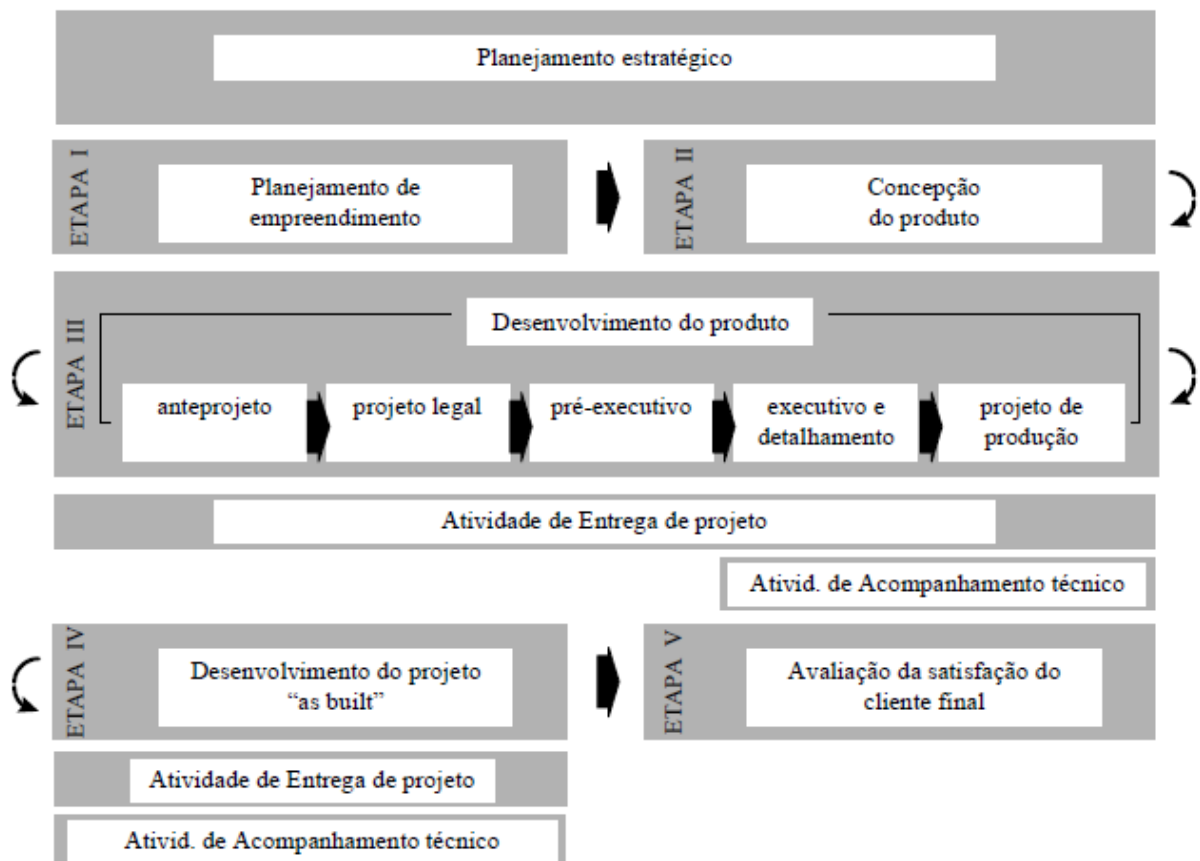


Figura 19 - Fluxo de Atividades do Processo de Projeto do Edifício

Fonte: Centro de Tecnologia de Edificações – CTE (1998) *apud* Fabrício *et al.*, 1998.

Pela Figura 19 pode-se observar que a atividade de entrega do projeto ocorre ao longo das etapas III e IV, e que a atividade de acompanhamento de execução da obra inicia-se a após o projeto executivo estar concluído; estendendo-se até a elaboração do *As Built*.

Fabrício e Melhado (1998) salientaram que, apesar dos esforços empreendidos pelo CTE (iniciado em 1997) na divisão do fluxo de atividades de desenvolvimento de projetos; com intuito de gerar melhorias ao fluxo das etapas de projeção, o processo proposto ainda se desenvolvia de forma sequencial, o que, segundo os autores, não é o ideal. Para os autores, apesar deste do modelo criado pelo CTE possuir evoluções em relação ao processo de projeto tradicional, ele ainda possuía características sequenciais no desenvolvimento de produtos. Esse fato, segundo os autores, dificulta a interação entre os especialistas de cada disciplina, dado que as proposições e/ou alternativas de melhoramento do projeto, que seriam plausíveis para cada área, ficam restringidas devido à evolução do grau de detalhamento do projeto por outras fases desenvolvidas anteriormente à etapa em questão.

Quase uma década depois, essa mesma característica sequencial é identificada também por Melhado *et al.* (2006) em pesquisa realizada para se comparar os cenários brasileiro e francês em relação à Gestão de Projetos de Edificações nos referidos países, fato que mostra que o cenário se manteve.

Para melhoria do fluxo de projeto Fabrício *et al.* (1998) propuseram a adoção dos conceitos da Engenharia Simultânea (E.S.) - utilizada nas indústrias de transformação – que, segundo os autores, pode ser uma importante alternativa para melhoria do desempenho dos projetos no que diz respeito às necessidades dos clientes intermediário e final. Essa metodologia, por meio do paralelismo na realização das diferentes atividades do projeto e da redução do tempo global de desenvolvimento do produto, tem capacidade de propiciar expressivos ganhos no desenvolvimento do produto no que tange à redução do tempo de seu lançamento no mercado. Devido às peculiaridades da Construção Civil, os autores propõe o termo “*Projeto Simultâneo*”, desenvolvido como uma solução alternativa à aplicação e à adequação de alguns princípios da E.S. ao setor; com ênfase ao desenvolvimento integrado das diferentes especialidades de projeto de produto e de processo.

De acordo com Fabrício (2002) o conceito Projeto Simultâneo está apoiado nas seguintes características:

- desenvolvimento paralelo das diferentes etapas do processo de desenvolvimento do produto;
- formação de equipes multidisciplinares, formadas por diferentes agentes do processo de produção, que possuam visões integradas;

- estímulo à interatividade entre os agentes das equipes multidisciplinares, enfatizando o papel do coordenador de projetos como fomentador do processo;
- foco marcante na transformação das aspirações e necessidades do cliente final em especificações de projeto.

Operacionalmente o Projeto Simultâneo está ligado à realização em paralelo de atividades de projeto, visando trazer para a fase de concepção do produto a participação dos diferentes agentes envolvidos nas várias fases do ciclo de vida do empreendimento, buscando considerar desde a concepção as necessidades, visões e aspirações do cliente.

Fabrício (2002) apresenta o modelo genérico para organização do processo de projeto supracitado, de forma integrada e simultânea, conforme pode ser visto na Figura 20.

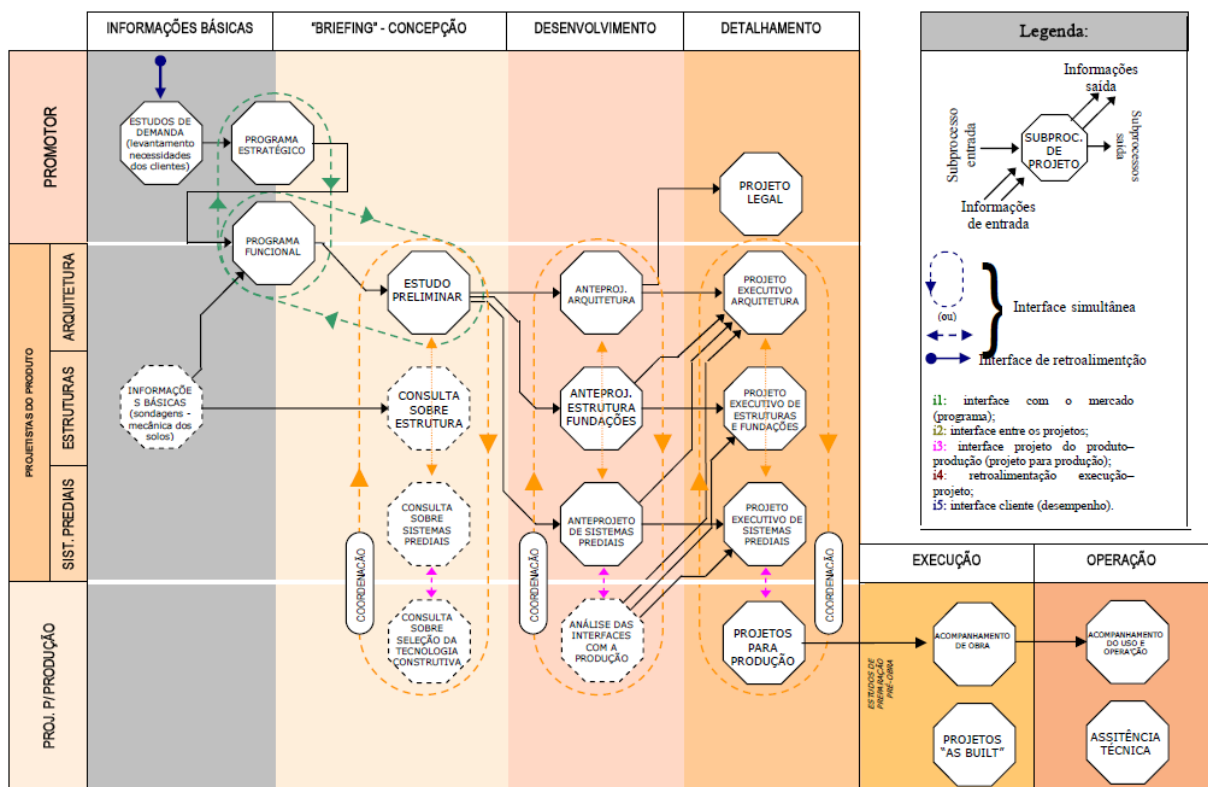


Figura 20 - Modelo genérico para organização do processo de projeto de forma integrada e simultânea.

Fonte: Fabrício (2002)

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. Disciplinas e Principais Fases de Projetos do Grupo de empresas pesquisadas

As disciplinas de projetos - com respectivos nomes e códigos criados pelas empresas pesquisadas - são: Processo (KP), Mecânica (MM) Terraplanagem/Geometria (CV); Civil Concreto (CC); Civil Estrutura Metálica (ST); Elétrica Industrial (EI); Tubulação (HT); Civil Arquitetura (CA); Automação/Instrumentação (TI); Hidrossanitário / Drenagem Cobertura (CH) e Civil Drenagem/Pavimentação (CD).

O grupo pesquisado adota as seguintes fases de projeto em seus processos: **Fase A1**: Projeto Conceitual; **Fase A2**: Projeto Básico; **Fase B**: Projeto Detalhado (3D)/Modelagem BIM ou Modelagem Paramétrica Industrial; **Fase C**: Simulações; **Fase D**: Gestão de Modelagem Interdisciplinar em modelo único; **Fase E**: Gestão de Especificação de Materiais para o projeto e Especificações de Engenharia; **Fase F**: Gestão do Conhecimento; e **Fase G**: Entrega do Projeto ao cliente. Todas as supracitadas foram discriminadas e exploradas a seguir, explicitando as tarefas específicas por disciplinas em cada fase de desenvolvimento do projeto. Essas fases foram identificadas neste trabalho com fases A1, A2, B, C, D, E e F, respectivamente.

3.1.1. Projeto Conceitual

De uma forma geral, o projeto conceitual, no grupo pesquisado, refere-se a estudos preliminares. Este estágio é utilizado para concepção da ideia do empreendimento ou edificação industrial. Normalmente não existem modelagens tridimensionais na fase de projeto conceitual. Os documentos, na maioria das vezes, são bidimensionais e/ou esquemáticos.

Nesta fase a disciplina de Processos (KP) inicia os estudos de viabilidade do empreendimento e do processo da planta. Procura-se definir o melhor processo para a atividade em questão e faz-se análises do mercado de suprimentos para as questões de fornecimento (equipamentos e materiais). Após conclusão do estudo de viabilidade e das definições das premissas de projeto, KP inicia o projeto básico, onde os equipamentos são definidos, em sintonia com a disciplina Mecânica (MM).

Nesta mesma fase, a Mecânica (MM) trabalha com algumas definições do Processo (KP). Por exemplo: em um projeto de Mineração, necessita-se conhecer toda a rota do processo mineral definida por KP; do beneficiamento do minério para, então, iniciar-se o projeto Mecânico. Na Siderurgia tem-se laminação ou aciaria. Os projetistas precisam trabalhar com toda a rota do processo metalúrgico definido. Essas predefinições darão condições de especificar e dimensionar os equipamentos da Mecânica. A MM então pré-dimensiona os equipamentos e define-os, ainda na fase conceitual, alinhada ao processo (KP) e em seguida buscam-se, no mercado, possíveis fornecedores de equipamentos. A partir dessas definições, inicia-se a modelagem, que normalmente ocorre na fase de projeto básico.

Por sua vez a equipe de Tubulações (HT) inicia estudos preliminares como cálculo de malhas de utilidades mais extensas, como, redes de gás, hidrantes, etc., com metodologia iterativa Hardy-Cross e o *Fluid Flow*, etc.

A Elétrica Industrial inicia a esquematização de diagramas unifilares, arranjos e lista de cargas conceituais, memoriais descritivos, listas de cargas, etc., sem nenhuma modelagem.

Na disciplina Civil Arquitetura (CA) o conceitual se limita a estudos de volumetria e, em alguns casos (quando o arranjo mecânico é pré-definido pelos fornecedores de equipamentos ou pela equipe da Mecânica) a disciplina trabalha com as ligações entre equipamentos ou *layout* geral da Mecânica. Nesta etapa o projeto arquitetônico não está preso a detalhes.

A estrutura metálica (ST) normalmente não trabalha na fase conceitual de projeto. Os trabalhos que se fazem, nesta etapa, normalmente, se restringem a estimativa de materiais - peso de aço por área construída (kg/m^2). Pode-se, em alguns casos, fazer uso de um “croqui”, caso o cliente solicite.

No conceitual a disciplina Civil Concreto (CC) elabora croquis como suporte para estudos de volumetria e de viabilidade. No conceitual do Hidrossanitário (CH) e da disciplina de Drenagem / Pavimentação apenas se compõem estudos iniciais de projeto, sem necessidade de elaboração de modelos.

A disciplina de instrumentação e automação da planta inicia estudos voltados aos sistemas de medição e controle da planta. A lógica da Automação, a ser definida nesta fase, precisa levar

em consideração os seguintes dispositivos: Instrumentos de medição (em campo) → painéis de campo (remota) → PLC (controlador) → Sala de Controle (com telas de supervisão).

A terraplanagem, nesta fase realiza estudos referentes a cortes e aterros; volumes de terraplenagem, estudo de empréstimos e "bota-foras".

3.1.2. Projeto Básico

Na fase de projeto básico inicia-se a elaboração do modelo 3D parametrizado nas diferentes disciplinas; em consonância com as definições iniciais realizadas no projeto conceitual.

O Processo (KP) inicia a composição de diagramas e ligações entre diferentes equipamentos da planta industrial; da distribuição do processo da planta no espaço. Trata-se de um conceito; uma modelagem bidimensional (2D). Essa ligação, no entanto, possui propriedades (tag, capacidade de vazão e pressão, etc.). De acordo com os entrevistados, não são apenas desenhos bidimensionais, mas um esquemático inteligente.

Na disciplina Mecânica (MM) começa-se a ter a percepção da planta. A ideia, segundo os entrevistados, é que, ao final do projeto básico os equipamentos que estarão presentes na planta estejam definidos.

Na disciplina de Tubulações (HT), normalmente, as informações do projeto conceitual não são enviadas automaticamente para a fase de projeto básico. O projetista deverá, então, executar, manualmente, a modelagem do encaminhamento das tubulações e das utilidades, definido na fase anterior.

A Elétrica Industrial (EI) é muito muito dependente da Engenharia Civil e da Mecânica. Na fase básica EI utiliza da distribuição de cargas elétricas definidas por essas disciplinas, principalmente a Mecânica.

Nesta fase, a Arquitetura transforma o projeto conceitual em básico, aumentando-se o nível dos detalhes. No Projeto Básico são definidas as cotas básicas e listas de materiais. Neste estágio podem ser entregues ao cliente maiores detalhes em relação a cortes e fachadas, lista de materiais para compras, etc.

A estrutura metálica inicia a modelagem do projeto em estruturas metálicas. Nesta fase, são feitos, também, os cálculos e dimensionamentos, em sincronia com a Arquitetura, Tubulações, Mecânica e demais disciplinas afins. A sequência de cálculo ocorre da seguinte forma: Na modelagem estima-se um perfil, por exemplo, na ferramenta de modelagem. Utilizando-se um software específico, aplicam-se, em seguida, cargas solicitantes e verifica se o perfil atende. Este processo é iterativo, até que o perfil tenha capacidade resistente para suporte das cargas. Ao final do dimensionamento todas as disciplinas precisam estar com os perfis dimensionados atualizados em seu modelo tridimensional.

Nesta fase a disciplina de concreto (CC) inicia a modelagem propriamente dita. O modelo pode vir dos lançamentos da Arquitetura ou pode ser iniciado pela própria disciplina. Contudo, esta interdisciplinaridade com a Arquitetura sempre ocorre, pois após o dimensionamento do concreto, o modelo da arquitetura precisa ser atualizado no *software* daquela disciplina. O modelo unificar também é elaborado nesta fase.

Nesta mesma fase inicia-se, também, a modelagem baseada em objetos paramétricos das disciplinas “Hidrossanitário / Drenagem de Cobertura (CH), Drenagem e pavimentação (DC) - com o projeto geométrico - e das disciplinas de Automação/Instrumentação (TI) e Terraplanagem.

3.1.3. Projeto Detalhado (3D) / Modelagem BIM ou Modelagem Paramétrica Industrial

Nesta etapa o modelo 3D das principais disciplinas deve ser concluído. Para o grupo de empresas pesquisadas o modelo BIM ou paramétrico industrial representa completamente o projeto detalhado. Esta representação vale para todas as disciplinas, com exceção do Processo e Terraplanagem, pois a primeira não possui modelagem 3D e a segunda não conta com *software* de modelagem paramétrica para composição do modelo, mas apenas ferramentas de modelagem 3D não parametrizada.

Nesta fase, como a modelagem está concluída pelas disciplinas, o grupo pesquisado inicia a extração de listas de materiais, enviando dados dos modelos parametrizados a um *software* de gestão de materiais, criado pelo próprio grupo (Empresa "B").

A disciplina de processo (KP), neste estágio de projeto, faz apenas revisões e adequações pontuais referentes ao processo da planta. A Mecânica (MM) conclui a modelagem, alocação e arranjo espacial dos equipamentos. Por sua vez a equipe de tubulação (HT), também, conclui a modelagem paramétrica da disciplina. Além das informações contidas no projeto básico, nesta fase o projeto de tubulações contempla as especificações de suportes e das ancoragens das tubulações e utilidades. São concluídos, também, os estudos de transientes hidráulicos (variação de pressão) e de esforços nas linhas de tubulação.

A disciplina EI também conclui o projeto elétrico detalhado nesta fase, ao passo que conclui o modelo 3D parametrizado. A Arquitetura entrega o projeto detalhado que contém aliado à Mecânica, todas as ligações entre os equipamentos, projetos de escritórios, salas elétricas, paredes em geral, escadas, extração de cortes, vistas, etc.

O projeto de estruturas metálicas (ST), nesta fase, é compilado, concluindo-se a modelagem, os cálculos e dimensionamentos como também o detalhamento estrutural. Uma lista de material é compõe o projeto detalhado, em formato bidimensional. Da mesma forma o modelo da disciplina de concreto (CC) é completado nesta fase, contendo a modelagem BIM, os cálculos, dimensionamentos, armação e fôrma. A lista de materiais é compilada, também, em pranchas 2D. O projeto Hidrossanitário e de Pavimentação também possuem, ao final desta fase, o modelo 3D parametrizado.

A disciplina de Automação/Instrumentação industrial concluem as análises e dimensionamentos dos instrumentos que serão utilizados na planta, por meio dos quais os sinais serão captados e enviados ao processador. Os instrumentos de campo podem ser botoeiras de emergência, sistema liga-desliga de motores, etc. Dos painéis de campo os sinais são enviados ao controlador por meio de rede. Essa rede utilizada até os painéis precisa ser composta por eletrodutos protegidos; discriminados e separados da rede elétrica para que não haja interferências. Toda esta lógica de controle da planta precisa estar então, completada, no projeto detalhado.

No terraplanagem a modelagem é concluída, obtendo-se toda a geometria da terraplanagem, como curvas de nível, informações de volumetria para cortes e aterros, bota-foras etc. Nesta fase são definidas, também, os cortes e aterros, orientações para execução de bermas de equilíbrio, retaludamentos, drenagens superficiais, etc.

3.1.4. Simulações, Análises e Dimensionamentos

No grupo pesquisado as simulações ocorrem apenas em modelos tridimensionais. Podem ser, na verdade, traduzidas em verificações, análises e dimensionamentos. Esta fase não vem, necessariamente depois do projeto detalhado, mas, concomitantemente àquele.

São aplicáveis as simulações como análise de perdas de cargas nas disciplinas de tubulações e Hidrossanitário; análise de flexibilidade e *stress* dos equipamentos mecânicos; cálculo de flexibilidade das tubulações em geral, análise e dimensionamentos em estruturas em geral e análises do controle da planta por meio de instrumentos.

3.1.5. Gestão de Modelagem Interdisciplinar em Modelo Único

Segundo informações do grupo pesquisado, a gestão da modelagem interdisciplinar é realizada, no grupo, pelas empresas "A" e "B", centralizando-se o modelo digital pela ferramenta Navisworks (Autodesk). Nesta fase, a principal atividade realizada é a verificação de interferências e a compatibilização do projeto elaborado pelas diferentes disciplinas. Os formatos podem ser 2D ou 3D. Os objetos paramétricos não são enviados ao Navis, mas apenas as suas geometrias para *clash detection*.

A integração do modelo parametrizado, com as informações completas das disciplinas, ocorre apenas entre disciplinas afins – ver utilização do Revit no item 3.4. Não existe, no grupo pesquisado, um modelo único que contenha todas as informações de projetos, tanto em termos de geometria quanto em termos de propriedades, funcionamento e outras informações intrínsecas ao BIM ou ao modelo industrial parametrizado. A integração completa se dá apenas em termos de geometria, para efeitos de visualização e verificação de interferência, pelo Navisworks.

Esse fato pode indicar que o BIM ou modelagem paramétrica industrial não engloba todo o ciclo de vida do projeto, pois, o modelo único suporta apenas entidades geométricas, representativas, ficando as outras informações “perdidas” ou restritas aos *softwares* de modelagem; não compartilhando as informações de forma completa a todas as disciplinas de projeto de forma integrada, ou seja, em um modelo único completamente parametrizado.

O modelo para visualização utilizado pelo grupo pesquisado é compilado sempre por meio do Navisworks. Conforme pode ser visto na Figura 61, nesta fase (Gestão do Modelo Único) é

gerado um arquivo Navis para cada disciplina. Esses vários arquivos só são agrupados na fase de entrega ao cliente, na consolidação do modelo 3D. Dessa forma, ao passo que o projeto de desenvolve, as disciplinas afins se comunicam (visualmente) por meio de referência cruzada (x-ref) dentro do processo de modelagem.

A empresa “B” automatizou uma rotina de trabalho para que, mediante as ferramentas de modelagem 3D utilizadas pelas disciplinas de projetos das empresas “A”, “C” e “D”, sejam gerados, automaticamente os modelos NavisWorks por disciplina. O que as disciplinas visualizam de outras, ao modelar, é um modelo representativo do geral, por intermédio de referências cruzadas que ligam os vários modelos disciplinares no Navis. As atualizações de cada disciplina são feitas também de forma automatizada. Quando os arquivos são “salvos” nos softwares de modelagem – por disciplina; por exemplo Revit, Inventor, PDMS, etc. - a rotina de trabalho atualiza (uma vez por dia) o modelo Navis da própria disciplina. Outra rotina (arquivos de referência cruzada) disponibiliza visualmente esses dados às demais disciplinas.

A Figura 21 ilustra uma sala elétrica de uma planta industrial, desenvolvida, no Revit. O projeto industrial, como um todo, ainda contou com o auxílio de outros *softwares* da Autodesk: Civil 3D, Inventor, e Plant 3D. As imagens foram criadas com auxílio do Navisworks, da própria Autodesk. Os materiais utilizados na modelagem desta indústria foram gerenciados mediante a ferramenta MEX – Material Explorer, da empresa “B”.

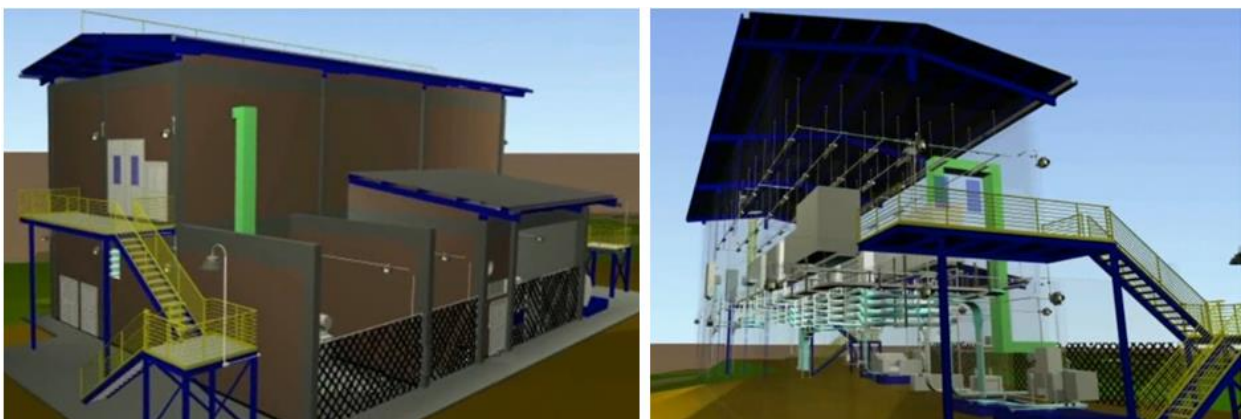


Figura 21 – Sala Elétrica de uma planta de mineração com e sem fechamento lateral. Projeto desenvolvido pelo grupo pesquisado utilizando-se softwares Autodesk 3D, BIM e de Modelagem Paramétrica Industrial

Fonte: adaptado de arquivo técnico do grupo pesquisado

3.1.6. Gestão de Especificação de Materiais para o projeto e Especificações de Engenharia

A gestão de materiais é realizada, pelo grupo pesquisado, por intermédio da empresa "B". No início da elaboração dos modelos parametrizados, cada projetista recebe exatamente e apenas os objetos paramétricos necessários à sua disciplina, em seu *software* de modelagem específico. Esses objetos contêm, além de informações geométricas para modelagem, especificações dos materiais que representam alinhadas à rede de suprimentos. Dessa forma obtém-se, na fase de projeto (design), o controle de material que irá para o canteiro de trabalho, evitando erros, retrabalhos e desperdício de material.

Com a ferramenta MEX – Material Explorer - as empresas “A” e “B” desenvolvem as especificações de materiais para apoio à modelagem e à compra de materiais. A Figura 22 mostra um "print" da tela do MEX em uma simulação de consulta a informações dimensionais de blocos ecológicos da disciplina de Civil Arquitetura (CA). Na referida figura, à esquerda, podem-se observar, em espécie de árvore hierárquica, opções para consultas de especificações de diversos materiais para utilização pelas diferentes disciplinas, em especial Arquitetura.

Item	Ordem	Código	Node	Desc. Resumido	Desc. Detalhado	Isom. Resumido	Isom. Detalhado
1	1,000000		10x 20x 5 cm	10x 20x 5 cm	10x 20x 5 cm	10x 20x 5 cm	10x 20x 5 cm
4	2,000000		12,5x 25x 6,25 cm	12,5x 25x 6,25 cm	12,5x 25x 6,25 cm	12,5x 25x 6,25 cm	12,5x 25x 6,25 cm
3	3,000000		12,5x 12,5x 6,25 cm	12,5x 12,5x 6,25 cm	12,5x 12,5x 6,25 cm	12,5x 12,5x 6,25 cm	12,5x 12,5x 6,25 cm
5	4,000000		15x 15x 7,5 cm	15x 15x 7,5 cm	15x 15x 7,5 cm	15x 15x 7,5 cm	15x 15x 7,5 cm
2	5,000000		12x 25x 6,25 cm	12x 25x 6,25 cm	12x 25x 6,25 cm	12x 25x 6,25 cm	12x 25x 6,25 cm
6	6,000000		15x 30x 7,5 cm	15x 30x 7,5 cm	15x 30x 7,5 cm	15x 30x 7,5 cm	15x 30x 7,5 cm

Figura 22 – MEX - Dimensional de Bloco Ecológico para utilização em alvenarias

Fonte: Adaptado de documentações fornecidas pelo grupo

O grupo também disponibiliza especificações de materiais por meio eletrônico, para usuários cadastrados, por meio de um web-site. A Figura 23 ilustra uma especificação longa, adaptada do site da empresa, ilustrando a especificação técnica de uma cantoneira de abas desiguais, referente à área de estrutura metálica, com referências normativas e de catálogos de diferentes fornecedores.

CATÁLOGO DE MATERIAIS > ESTRUTURA METÁLICA > AÇOS LONGOS > PERFIS LAMINADOS > CANTONEIRA DE ABAS DESIGUAIS > AÇO CARBONO SEM ACABAMENTO > ASTM A36 > ABAS 3.1/2" x 2.1/2" > ESPESURA 5/16" > PESO 10,71 kg/m

REF: [] PEÇA 12000 MM COMPRIMENTO

Descrição Curta Descrição Longa

Cantoneiras de abas desiguais em aço carbono sem acabamento, conforme norma ASTM A36 com abas de 3.1/2" x 2.1/2" e espessura de 5/16" peso nominal de 10,71 kg/m referência FORNECEDOR X ou equivalente. Fornecida em peças de 12000 mm de comprimento

Catálogo Fornecedor X Catálogo Fornecedor Y

Figura 23 – Especificação Técnica - Descrição longa – Cantoneira em aço carbono, laminado, de abas desiguais – Referência Catálogo Fornecedor “X”

Fonte: Adaptado de website da Empresa “B”

3.1.7. Gestão do Conhecimento

Pela ferramenta MEX – Material Explorer – desenvolvida e gerenciada pela própria Empresa “B”, a gestão do conhecimento é realizada entre um projeto e outro, por meio de tarefas que permitem manutenção e aplicação das boas práticas de Engenharia aplicadas a cada projeto. Neste sentido o grupo faz reutilização das especificações de materiais utilizadas em projetos anteriores. Essas informações são mantidas em um banco de dados único do MEX. Segundo o grupo pesquisado a gestão do conhecimento ainda engloba realização de sessões de “review”; manutenção da ligação entre as ferramentas de modelagem e a localização das documentações nos arquivos de rede – árvore hierárquica, constituída na ferramenta MEX a partir das propriedades específicas de cada família de material.

A árvore hierárquica é utilizada para gestão de conhecimento (utilização do histórico das boas práticas de Engenharia em projetos futuros) e para armazenamento centralizado de

especificações de materiais parametrizados, permitindo acesso por função do profissional, por disciplina ou por projeto.

O acervo técnico comum a vários tipos de projetos ainda conta com vídeos gerados a partir de modelos tridimensionais, imagens de acompanhamento de obra, instruções de montagem, cópias PDF de documentos para consulta rápida e links para conteúdo relacionado ao projeto.

A Figura 24 apresenta uma imagem de um vídeo, criado no MEX a partir de um projeto 3D de utilidades referente a um laminador de indústria Siderúrgica. Este vídeo fica guardado no banco de dados do MEX e pode ser útil como histórico e/ou aprendizado para projetos futuros.

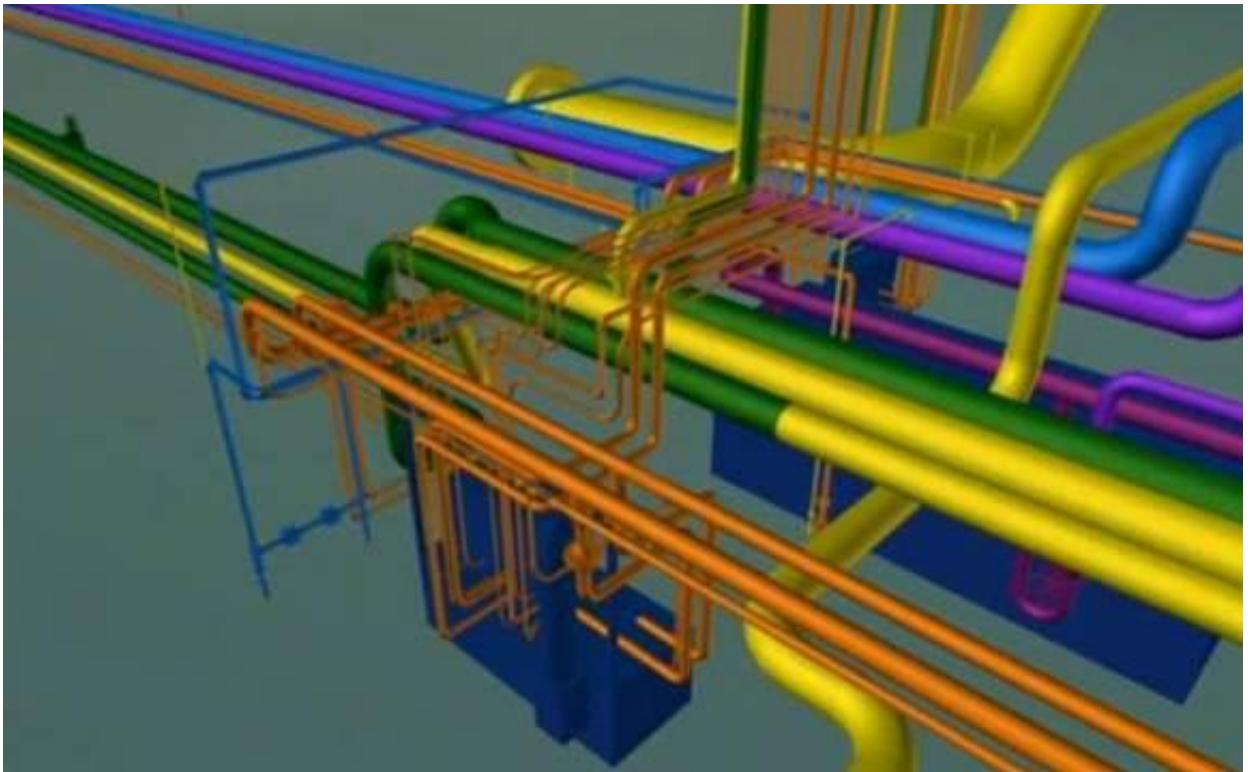


Figura 24 – Imagem de projeto 3D: Utilidades (Tubulações) para Laminador de uma Planta Industrial de Siderurgia

Fonte: acervo da empresa “A”

3.2. Elaboração de projetos: da Solicitação do Cliente à Entrega Final

A seguir estão listadas as principais tarefas realizadas pelo grupo pesquisado no processo de desenvolvimento de projetos – a partir da solicitação do cliente até a entrega final. Essas informações foram levantadas junto às empresas pesquisadas.

- Recebimento do Programa de Necessidades do Cliente;
- Empresa “A” nomeia o gerente do projeto;
- A empresa de projetos (Empresa “A”), sob coordenação do gerente do projeto, designa que especialidades (disciplinas) estarão presentes no projeto;
- Os líderes das disciplinas nomeiam um engenheiro líder do projeto;
- O escopo do projeto é enviado à Empresa de Automação de Projetos (Empresa “B”);
- A Empresa “B” designa o líder da equipe de suporte às equipes de Projetos das Empresas “A”, “C” e “D”;
- São escolhidos, na Empresa “B”, os Administradores 3D para gerenciar as disciplinas de Automação de Projeto;
- A empresa “B” designa a equipe de Automação de Projetos e de Engenharia de Materiais para trabalhar no projeto com as atividades específicas de desenvolvimento de descritivos técnicos; especificações de materiais (SPEC’s); desenvolvimento de bibliotecas 3D paramétricas e envio aos softwares BIM e de modelagem paramétrica industrial; importação e extração automática de listas para compras; soluções para interoperabilidade entre softwares paramétricos;
- São contratados equipes de profissionais das empresas “C” e “D” para composição da elaboração dos projetos de estruturas metálicas e em concreto, respectivamente;
- O grupo pesquisado, sob coordenação das empresas “A” e “B” selecionam os softwares e plataformas para suporte à modelagem elaboração do projeto;
- Mediante o software MEX – *Material Explorer* – é feita a gestão das famílias dos objetos paramétricos e especificações de materiais; informações que serão enviadas a cada disciplina de projeto;
- Pelo MEX informações paramétricas para modelagem da geometria das peças são enviadas aos softwares de modelagem, exatamente de acordo com a necessidade e escopo do projeto;
- Inicia-se o processo de elaboração do projeto pelas disciplinas (empresas “A”, “C” e “D”);
- Os modelos paramétricos (até a fase de projeto detalhado) são desenvolvidos por disciplina e disponibilizado interdisciplinarmente (sob gestão da Empresa “B”) por meio de software específico (Navisworks);
- Completada a modelagem paramétrica (BIM ou industrial) o projeto é enviado ao cliente em diferentes formatos.

De uma maneira geral, o projeto entregue ao cliente é composto por:

- Modelo Digital, tridimensional, não parametrizado, na ferramenta Navisworks. Este documento (interdisciplinar) é a junção de todos os modelos disciplinares.
- Projeto bidimensional em DWG digital ou papel;
- Lista de Materiais em MS Excel (por disciplina e geral) emitida na ferramenta MEX – Material Explorer;
- Planilha em MS Excel com especificações e dados dos equipamentos, também emitida mediante a ferramenta MEX;
- Planilha com informações ao cliente para contratação de construção e montagem dos edifícios ou planta, respectivamente.

Uma constatação relevante na pesquisa diz respeito ao desenvolvimento do modelo 3D ao longo das fases do projeto. Uma vez que as informações de cada disciplina foram disponibilizadas no modelo 3D geral, quaisquer alterações no projeto por parte de uma disciplina - que interfiram em outras - só poderão ser realizadas de forma conjunta, ou seja, com aprovação das demais disciplinas interessadas e/ou envolvidas. De acordo com os entrevistados, essas tomadas de decisões são realizadas por meio de reuniões de equipe (chamadas de reuniões de “*design-review*”); que normalmente acontecem sob supervisão do coordenador dos projetos; com participação dos líderes das disciplinas envolvidas e engenheiros que compõem as equipes de projeto.

3.3. Ciclo de Vida do Projeto por Fases e por disciplinas

A Figura 25 ilustra o ciclo de vida de desenvolvimento de projetos (design) pelo grupo pesquisado, através das principais fases adotadas pelas empresas. Metodologicamente, a presente pesquisa convencionou junto às empresas pesquisadas, um modelo de projeto com duração total de 12 (doze) meses. A partir desta convenção definiram-se os prazos de cada etapa. Esse modelo (não real) foi adotado como padrão em todo o trabalho em relação aos estudos de desenvolvimento de projetos do grupo pesquisado de forma a representar quaisquer processos de elaboração de projetos pelo grupo pesquisado. Pela planilha da Figura 25 podem-se observar as formas sequenciais e/ou simultâneas das fases de projeto pelo paralelismo entre as células preenchidas.

FASES DE DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS - NOMENCLATURA-PADRÃO DO GRUPO PESQUISADO	PRAZO (MESES)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FASE A1: PROJETO CONCEITUAL	█											
FASE A2: PROJETO BÁSICO		█	█									
FASE B: PROJETO DETALHADO 3D / MODELAGEM BIM / PARAMÉTRICA INDUSTRIAL				█	█	█	█	█	█	█	█	█
FASE C: SIMULAÇÕES, ANÁLISES E DIMENSIONAMENTOS											█	█
FASE D: GESTÃO DE MODELAGEM INTERDISCIPLINAR - MODELO ÚNICO (2D, 3D, BIM, MODELO PARAMÉTRICO INDUSTRIAL						█	█	█	█	█	█	█
FASE E: GESTÃO DE ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS PARA O PROJETO / GESTÃO LISTAS DE MATERIAIS	█	█	█	█	█	█						
FASE F: GESTÃO DE CONHECIMENTO	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Figura 25 - Ciclo de Vida do desenvolvimento de projetos pelo grupo pesquisado – Fases, duração das fases e sequência de elaboração

Fonte: Desenvolvido pelo autor deste trabalho

Como pode ser observado pela Figura 25, as fases de projeto conceitual e básico - considerando a idealização de um projeto de 12 meses de duração – levam, em média, 3 meses para serem elaboradas, sendo que a primeira tem duração de um mês e a segunda de dois. Concluídas as duas primeiras etapas do projeto (conceitual e básico) inicia-se a fase do projeto detalhado, do quarto ao décimo segundo mês. Nos dois últimos meses de compilação do projeto detalhado, iniciam-se as simulações (ou análises) que se mantêm até a conclusão do projeto. A gestão do modelo multidisciplinar, realizada por meio da ferramenta Navisworks (Autodesk), inicia-se quando a modelagem paramétrica, em cada disciplina, está mais madura, ou seja, a partir do terceiro mês do projeto detalhado. Esta gestão do modelo único, multidisciplinar, não parametrizado - mas como suporte de visualização e verificação de interferências - acompanha o projeto até a sua conclusão e entrega ao cliente, no décimo segundo mês.

As interferências e inconsistências detectadas no modelo geral, mediante a ferramenta "*clash detective*" do Navisworks, são consideradas e discutidas em reuniões de "*design review*" entre o coordenador do projeto, os líderes das disciplinas e os projetistas. Um relatório de interferências interdisciplinar é enviado do Navisworks aos *softwares* de modelagem. Na

sequência cada equipe de projeto atualiza seu modelo (disciplinar, não integrado) em sua própria ferramenta de modelagem, conforme acordado entre todos. Ao final de cada dia, uma rotina automática, criada pela Empresa "B", retroalimenta o modelo geral no Navisworks para novas verificações. Esse ciclo se repete até que não haja mais questões pendentes ou inconsistentes.

A gestão de materiais, pela ferramenta MEX inicia-se nos primeiros meses de desenvolvimento do projeto e estende-se até o sexto mês. Neste período, todas as especificações de materiais (SPECs) devem estar concluídas para a compilação do projeto detalhado. A gestão do conhecimento é realizada durante todo o período de desenvolvimento do projeto, uma vez que se trata de compilação e aplicação de boas práticas de Engenharia, Arquitetura, Construção e processo de montagem de planta industrial, obtidas e desenvolvidas à medida que elaboram mais e mais projetos construtivos.

Um fato que fica claro mediante a observação Figura 25 é a forma sequencial de desenvolvimento das principais fases do projeto (conceitual, básico e detalhado). Nessas etapas a elaboração do projeto ocorre sem simultaneidade entre as fases, sendo o projeto desenvolvido de forma sequencial, uma forma tradicional e não muito desenvolvida de elaboração de projetos, sem relação direta com o modelo de Projeto Simultâneo de Fabrício (2002).

Dada a forma sequencial de desenvolvimento das três principais etapas de projeto (conceitual, básico e detalhado), mostrada no item anterior, propôs-se, neste trabalho, a subdivisão das etapas de projetos em disciplinas, como alternativa de estudo das interfaces entre as fases e não apenas das fases de projeto.

Como mostrado na Figura 26, as etapas de projetos foram, então, subdivididas em disciplinas de projeto - que possuem diferentes tarefas - para possibilitar a análise do possível paralelismo entre as disciplinas de projetos e não apenas entre fases (etapas). Esta metodologia foi adotada, pois se esperava que pudesse haver simultaneidade entre as tarefas de desenvolvimento de uma mesma fase de projeto e; que, este fato poderia, posteriormente, impulsionar o desenvolvimento paralelo entre fases de projeto.

Metodologicamente, idealizou-se, junto ao grupo pesquisado, um projeto-padrão de 12 (doze) meses, sendo cada mês dividido em 4 (quatro) semanas para representação dos prazos de cada

etapa e de cada tarefa por disciplina, sendo os serviços desenvolvidos por cada disciplina o que representa a subdivisão das etapas de projeto. Essa idealização visou representar qualquer processo de projeto (*design*) desenvolvido pelas empresas pesquisadas, como projetos de Mineração, Siderurgia, Metalurgia, Óleo e Gás, etc. Obviamente, no grupo pesquisado, pode haver processos de projeto com duração superior ou inferior a doze meses.

Nesta subdivisão, pôde-se, então, notar que havia, sim, paralelismo entre diferentes as tarefas desenvolvidas pelas disciplinas (ou equipes de projeto) que compõem o grupo pesquisado. O somatório dessas atividades compõem as fases de projeto. Dessa forma, pode-se salientar que, mesmo que, aparentemente, as fases de projeto sejam desenvolvidas de forma sequencial; elas possuem certo paralelismo em suas interfaces (em suas tarefas), por meio do desenvolvimento simultâneo de algumas atividades que compõem as fases. Esse fato pode ser evidenciado na Figura 26. Neste caso, para compilação de todo o ciclo de projeto, as fases conceitual (A1) e básico (A2) foram tratadas como Fase A e separadas da fase de projeto detalhado (Fase B). Observa-se, pela Figura 26, que nas três fases há simultaneidade entre no trabalho (tarefas) desenvolvido por todas as disciplinas de projeto, o que pode indicar a colaboração entre os diferentes do processo de elaboração do projeto, apesar de ficar claro que o estágio “detalhado” seja desenvolvido sequencialmente às duas primeiras fases.

As disciplinas de projetos do grupo pesquisado com respectivas e siglas são: Processo (PC), Mecânica (MM) Terraplanagem/Geometria (CV); Civil Concreto (CC); Civil Metálico (ST); Elétrica Industrial (EI); Tubulação (HT); Civil Arquitetura (CA); Automação/Instrumentação (TI); Hidrossanitário / Drenagem Cobertura (CA); Civil Drenagem/Pavimentação (CD) e Hidrossanitário / Drenagem Cobertura (CH).

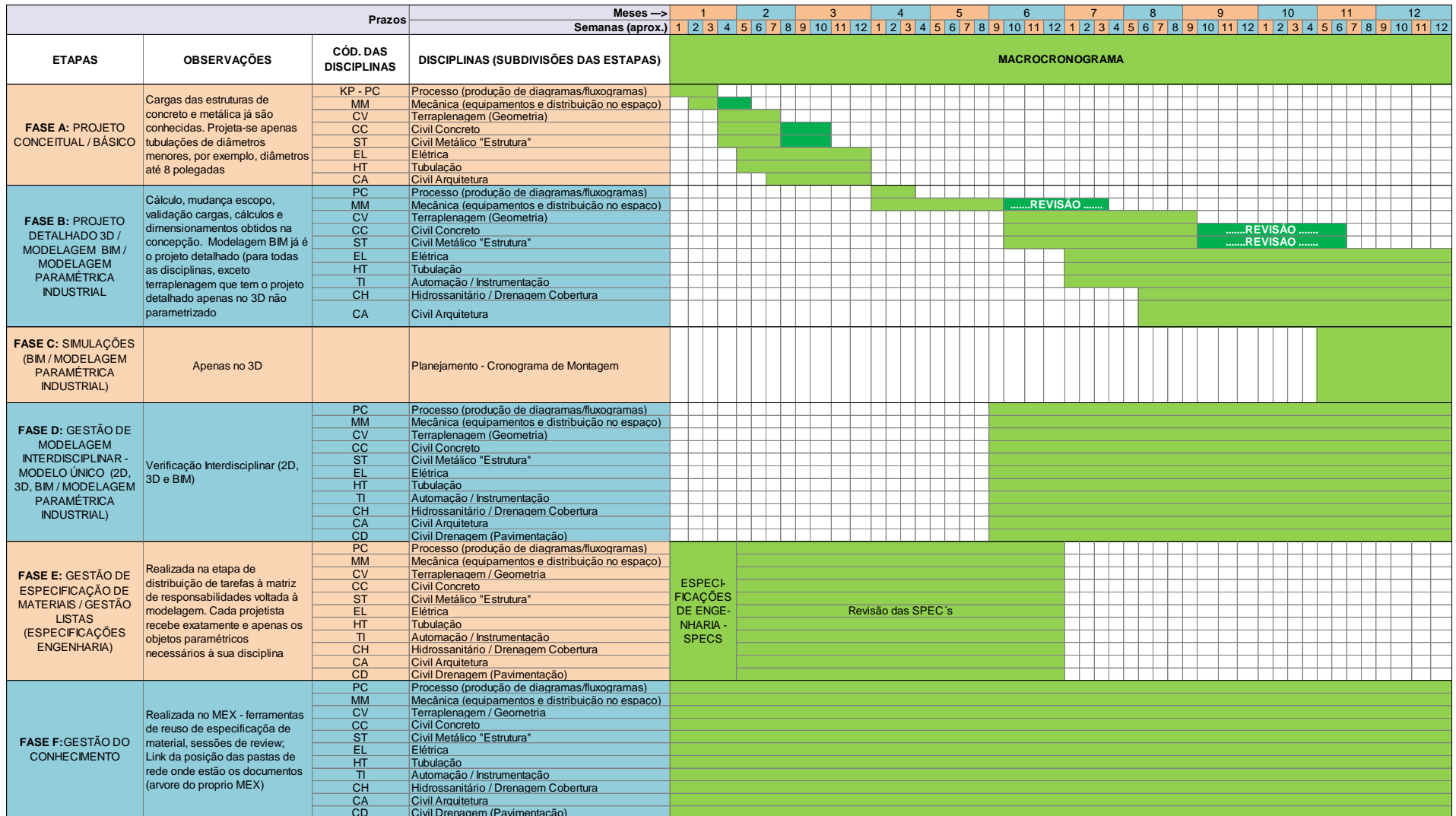


Figura 26 - Ciclo de Vida do desenvolvimento de projetos – Fases, disciplinas e duração de elaboração. Projeto-Modelo 12 meses.

Fonte: Desenvolvido pelo autor deste trabalho

Pela Figura 26 pode-se notar que além do paralelismo entre atividades de uma mesma fase de projeto, percebe-se, também, paralelismo entre as fases tradicionais (conceitual, básico e detalhado) e as fases de Simulações, Gestão do Modelo Único, Gestão de Materiais e do Conhecimento.

Esse fato pode indicar que a adoção dos conceitos BIM e da modelagem paramétrica tem alterado a forma de projetar do grupo (novas etapas surgem) além de trazer consigo características de simultaneidade ao processo de projeto.

Pela Figura 26 percebe-se que, ao se subdividirem as fases de projeto em disciplinas, surge certo paralelismo entre as diferentes atividades de uma mesma fase, indicando a existência de simultaneidade entre certas disciplinas de uma mesma fase de projeto, mesmo que esta etapa não possua paralelismo com outra.

O fato de não haver, no grupo pesquisado, paralelismo entre as etapas tradicionais do projeto (entre Fases A, B, C) pode indicar que o conceito BIM (ou modelagem paramétrica industrial) ainda não englobe todo o processo de desenvolvimento do projeto pelo grupo pesquisado. Essa indicação ficou evidenciada, durante a pesquisa, quando se descobriu que a maioria das disciplinas ainda utiliza-se de softwares não parametrizados nas fases de projeto A1 (conceitual) e A2 (básico). Essa afirmação pode ser visualizada no fluxograma de troca de dados e informações entre os diferentes softwares utilizados pelo grupo pesquisado; fluxograma esse representado pela Figura 61, seção 3.7.12.

3.4. Principais ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado

As empresas do grupo pesquisado utilizam diversas ferramentas de apoio à elaboração de projetos nas diferentes disciplinas. Dentre elas estão ferramentas BIM; ferramentas de modelagem paramétrica industrial, ferramentas 2D e softwares 3D não parametrizados e de gestão.

Como pode ser visto – por meio da Figura 61 - o grupo pesquisado faz ainda uso de ferramentas 2D e 3D que não são BIM ou não suportam a modelagem paramétricas, principalmente na fase de concepção do projeto, em diferentes disciplinas. Os desenhos, diagramas e fluxogramas gerados por essas ferramentas (principalmente na disciplina de Processo, que é a base para as outras) obviamente não incorporam o modelo parametrizado das disciplinas. Esse fato indica as

áreas em que o BIM e/ou a modelagem paramétrica não conseguem integrar todo o processo de projeto do grupo pesquisado.

As principais ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado como apoio à elaboração de projetos industriais, com respectivos desenvolvedores e as principais aplicações pelas empresas pesquisadas, podem ser visualizadas, de forma resumida, na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado, de acordo com empresas desenvolvedoras e principais aplicações no grupo

Software	Desenvolvedor	Aplicação no Grupo Pesquisado
Material Explorer	Empresa "B"	Gestão de Materiais/Criação de Bibliotecas 3D
Navisworks	Autodesk	Integração de Modelos e Verificação de Interferências
SAP2000	Computers & Structures	Análise/Dimensionamento Estrutural (Aço/Concreto)
Inventor	Autodesk	Modelagem e Alocação de Equipamentos Mecânicos
Família Revit	Autodesk	Modelagem em Geral
Solidworks	SolidWorks Inc.	Modelagem de Equipamentos Mecânicos
Microstation	Bentley	Modelagem de Equipamentos Mecânicos
Plant 3D	Autodesk	Modelagem de Tubulações
SmartPlant 3D	Intergraph	Modelagem de Redes de Tubulações e Elétrica
Ceaser	Intergraph	Cálculo de Flexibilidade em Tubulações
Triflex	DMS	Design e Análise de Stress em Tubulações
X-Steel	Tekla	Detalhamento de Estruturas em Aço
Robot	Autodesk	Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto
Civil 3D	Autodesk	Projetos de Terraplanagem e Geometrias
AutoCAD 2D/3D	Autodesk	Projeto Conceitual/Básico de algumas disciplinas
Excel	Microsoft	Listas de Materiais e Equipamentos
PDMS	Aveva	Alocação Equip. Mecânicos/Modelagem Tubulações

Fonte: Desenvolvido pelo autor deste trabalho

Na sequência do trabalho, serão detalhados usos específicos dos *softwares* por disciplina e fases de projeto.

3.5. Desenvolvimento de Projetos Multidisciplinares em 3D pelo grupo pesquisado

A Figura 27 ilustra uma das metodologias para elaboração de projetos de Engenharia com arranjos tridimensionais pelos *softwares* adquiridos e desenvolvido pelo grupo pesquisado. Neste caso destaca-se a adoção de ferramentas Autodesk pela maioria das disciplinas. O modelo mais completo de trocas de dados, contemplando ferramentas de múltiplos desenvolvedores de softwares pode ser visto na Figura 61 deste mesmo capítulo.

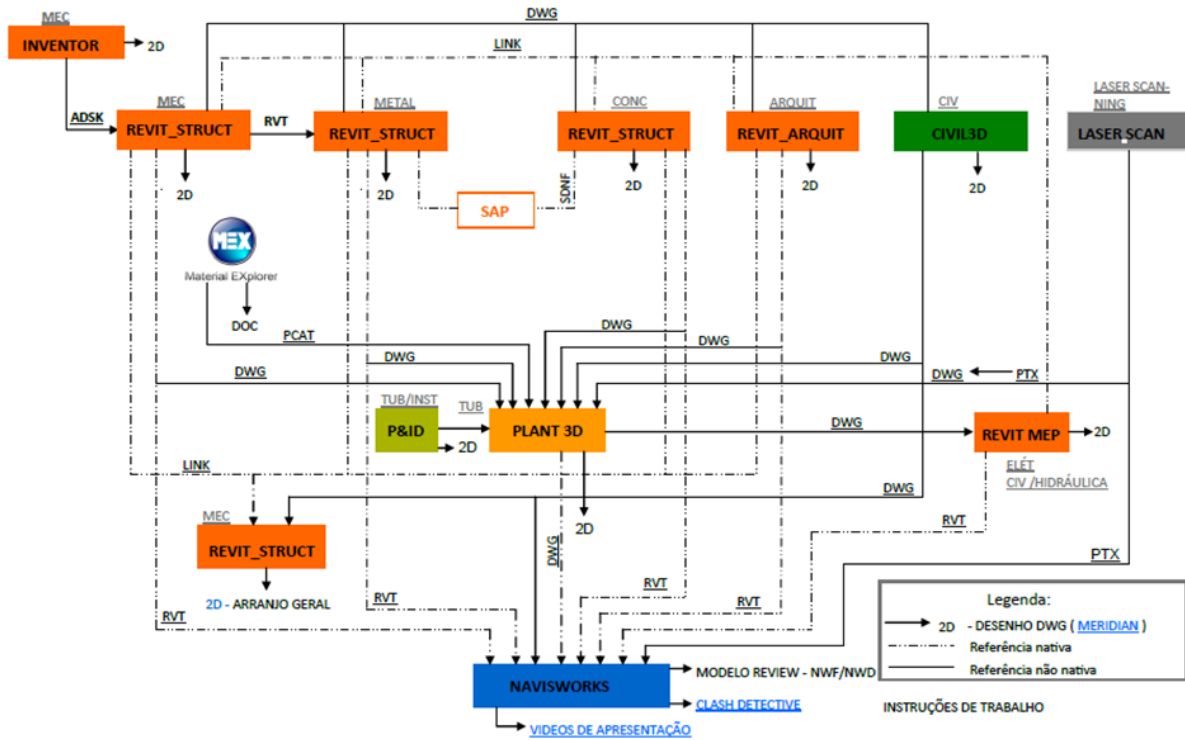


Figura 27 - Exemplo de Fluxograma da metodologia para desenvolvimento de Projetos Multidisciplinares em 3D pelo grupo pesquisado – Destaque para maioria de ferramentas da plataforma Autodesk
 Fonte: Arquivo Técnico do grupo pesquisado

A Figura 28 apresenta um dos modelos de fluxo de integração entre ferramentas de diferentes especialidades, realizada pelo grupo pesquisado. Neste caso, especificamente, o software de gestão de materiais MEX – *Material Explorer* - faz comunicação direta apenas com a ferramenta de modelagem de projetos industriais, o PDMS – *Plant Design Management System* – da empresa Aveva.

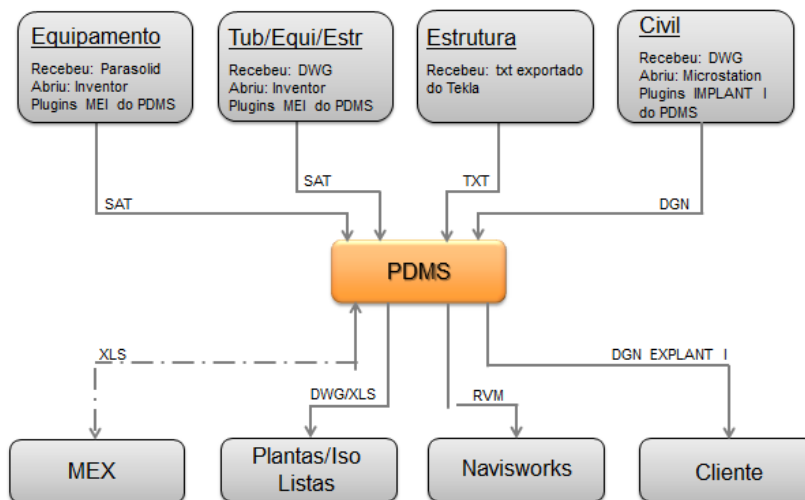


Figura 28 – Exemplo de Fluxo de Integração entre ferramentas de diferentes plataformas
 Fonte: Arquivo técnico empresas “A” e “B”

Atualmente o MEX interage diretamente com as seguintes ferramentas, com respectivas plataformas:

- PDMS (Aveva);
- Plant 3D (Autodesk);
- Smart Plant 3D (Intergraph);
- Revit (Autodesk)
- OpenPlant (Bentley);

(O grupo de empresas tem buscado o desenvolvimento de interações entre o MEX e os softwares Open Plant (da Bentley) e softwares da PTC e da Siemens).

3.6. Aplicações do MEX – Material Explorer

A ferramenta MEX – Material Explorer – é um software de desenvolvido e gerenciado pela Empresa “B” para suporte à gestão de materiais e à modelagem paramétrica nas diferentes disciplinas de projeto do grupo. Segundo a Empresa "B" MEX é constituído por uma base de conhecimento de materiais de Engenharia e Construção. O *software* pode dar suporte a diversas funcionalidades como:

- Padronização de Materiais;
- Construção dos Descritivos Técnicos;
- Gestão das Especificações e Materiais (SPEC´s) em diversas disciplinas;
- Exportação de Componentes Paramétricos de Modelagem 3D;
- Importação de quantitativos de materiais do modelo 3D;
- Compilação de Listas de Materiais (por disciplina, por tipo de material e geral);
- Totalização de Materiais para Compra;
- Segurança e Permissionamento;
- Relatórios diversos, etc.

Atualmente o MEX possui mais de 1.000.000 (um milhão) de materiais cadastrados e validados junto ao mercado brasileiro de fabricantes. O *software* auxilia na gestão de materiais e do conhecimento, possibilitando as seguintes ações:

- Gestão de Materiais: disponibilização quanto à geometria, descrição técnica e especificação técnica de famílias de objetos paramétricos aos softwares de modelagem orientada a objetos;

- Gestão do Conhecimento - reutilização de especificações de material em novos projetos; sessões de “review”; reaproveitamento do caminho e da posição das pastas de rede onde estão alocados as documentações de projeto.

Com intuito de disseminar informações técnicas atualizadas sobre materiais e serviços de Engenharia, em substituição aos tradicionais catálogos de fabricantes, a empresa “B” disponibiliza uma versão *online* gratuita do *software* MEX (WebMEX) voltado a pesquisas de materiais e composição de listas para compra e orçamentos. Esta versão online da ferramenta não dispõe, contudo, família de objetos paramétricos e informações para modelagem.

A Figura 29 apresenta um fluxo de gestão do conhecimento e de documentações de Engenharia suportada pelo MEX e por outras ferramentas. Pela referida figura pode-se discriminar os dados externos à ferramenta MEX (em vermelho), os dados particulares de cada projeto (azul claro) e os dados comuns a diferentes projetos (azul escuro). Quando os dados são comuns entre projetos significa que esses dados poderão ser reutilizados em projetos subsequentes, para os quais, obviamente não haverá retrabalho de criação ou manuseamento desses dados.

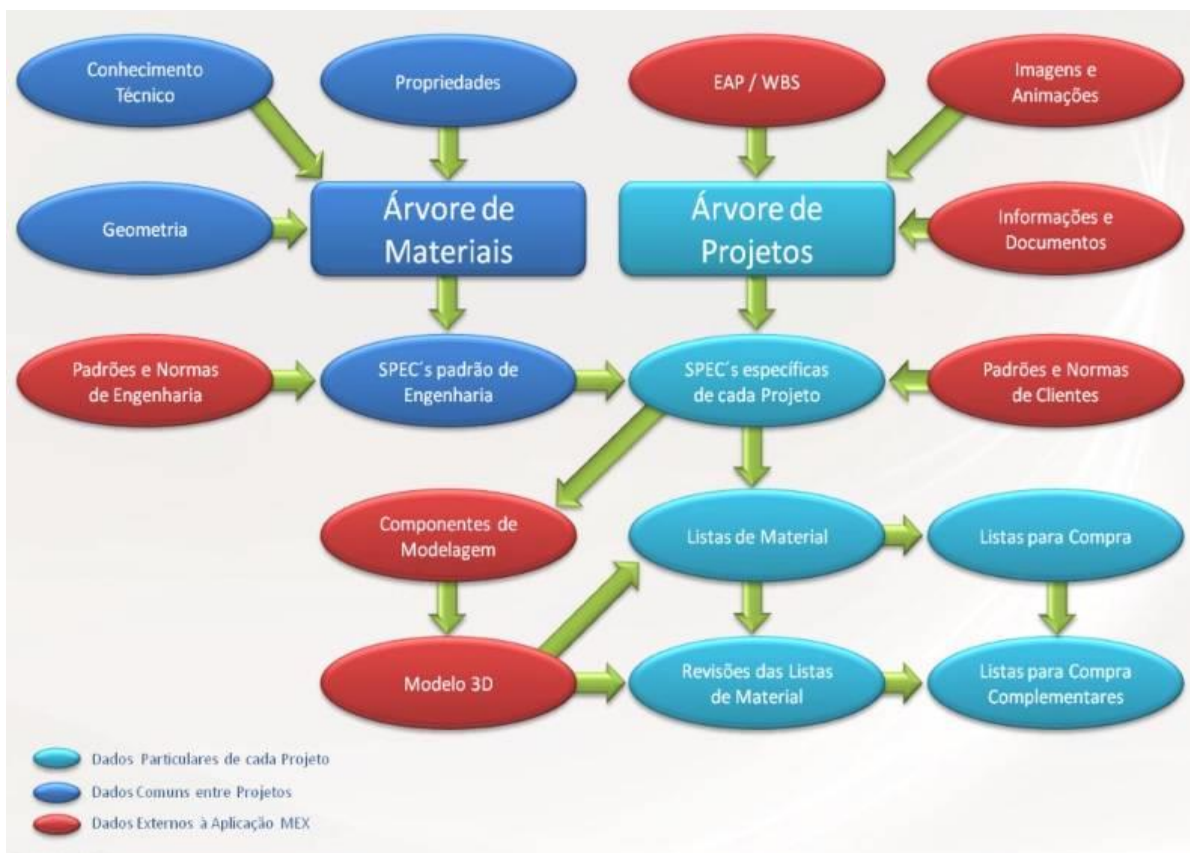


Figura 29 - Fluxograma de Padronização de Materiais e Especificações de Engenharia por meio do software MEX – Material Explorer e por outras aplicações

Fonte: arquivo técnico Empresa “B”

Os dados comuns a diferentes projetos incluem trabalhos importantes como desenvolvimento de SPEC's - especificações de materiais e desenvolvimento de famílias de objetos paramétricos que podem ser armazenados no banco de dados do MEX para utilizações e aplicações futuras.

3.6.1. Emissão de Lista de Material pela ferramenta MEX – Material Explorer

Como mostrado neste trabalho, a ferramenta MEX foi desenvolvida pela empresa “B” para suporte a gestão de materiais e à modelagem paramétrica nas diferentes disciplinas de projeto do grupo. Uma função específica e importante da referida ferramenta é a emissão de documentações entregáveis ao cliente. Um exemplo disso é a lista de materiais. Como não existe um modelo único, parametrizado, de onde se podem extrair todas as informações de projeto, um recurso que o grupo utiliza é fazer-se, automaticamente, a exportação de todos os dados de materiais que compõem o modelo nos softwares de modelagem das disciplinas para o MEX. Por meio deste, compila-se toda a gama de materiais, o que possibilita a emissão de listas de materiais, por disciplina; por tipo e geral para compra. Essa lista é sempre gerada em planilhas MS Excel (formato XLSX).

A Figura 30 ilustra dois tipos de listas de compras: quantitativos e imagens e listas com códigos e descritivos para compra.

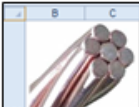


(a)						(b)			
 <p>Página 18 Cabo nu tipo 2 para fabricado em fios de cobre nu, classe 2 de encordoamento, conforme norma ABNT NBR-6524</p>						ID MEX	Descrição Sucinta	Descrição Técnica completa	Unidade
273						57053	GRAPA PARA LEITO AÇO CARBONO GALV. A FOGO CONF. SAE-1008	Grapa com furo de 10mm para leito em aço carbono , acabamento galvanizado a fogo conforme norma de fabricação do aço SAE-1008 referência POLEODUTO ou equivalente.	pc
274	275	276	277	OBSERVAÇÃO		57136	JUNÇÃO ARTICULADA PARA LEITO AÇO CARBONO GALV. A FOGO 8 FUROS OBLONGO 10x20mm LONGARINA 100 x 45 mm CONF. SAE-1008	Junção articulada para leito em aço carbono , acabamento galvanizado a fogo com 8 furos oblongo de 10x20mm para longarina de 100 x 45 mm conforme norma de fabricação do aço SAE-1008 referência POLEODUTO ou equivalente.	pc
	35 mm ²	PRY-SMAN	110	m		57451	SÉPTO DIVISOR PARA LEITO AÇO CARBONO GALV. A FOGO 72 x 3000 mm para viga U de 100 x 19 mm distância de furos para fixação 200 mm chapa de 16 MSG CONF. SAE-1008	Sépto divisor para leito em aço carbono , acabamento galvanizado a fogo com (altura x comprimento) de 72 x 3000 mm para leito de longarina U de 100 x 19 mm e distância de furos para fixação de 200 mm fabricado em chapa de 16 MSG conforme norma de fabricação do aço SAE-1008 referência POLEODUTO ou equivalente.	pc
	50 mm ²	PRY-SMAN	222	m		67021	LEITO AÇO CARBONO TIPO MÉDIO GALV. A FOGO ABA EXT. U 100 x 19 mm chapa 14 MSG perfilado 38 x 19 mm chapa 16 MSG DISTANCIADOS A CADA 200 mm COM (LARG. X COMPR.) 200 x 3000mm CONF. SAE-1008	Leito de aço carbono tipo médio , acabamento galvanizado a fogo aba externa longarinas paralelas de perfil tipo U de 100 x 19 mm em chapa 14 MSG e travessas de perfiladas 38 x 19 mm em chapa 16 MSG distanciadas a cada 200 mm com (largura x comprimento) de 200 x 3000mm conforme norma de fabricação do aço SAE-1008 referência POLEODUTO ou equivalente.	pc
	70 mm ²	PRY-SMAN	240	m		67023	LEITO AÇO CARBONO TIPO MÉDIO GALV. A FOGO ABA EXT. U 100 x 19 mm chapa 14 MSG perfilado 38 x 19 mm chapa 16 MSG DISTANCIADOS A CADA 200 mm COM (LARG. X COMPR.) 600 x 3000mm CONF. SAE-1008	Leito de aço carbono tipo médio , acabamento galvanizado a fogo aba externa longarinas paralelas de perfil tipo U de 100 x 19 mm em chapa 14 MSG e travessas de perfiladas 38 x 19 mm em chapa 16 MSG distanciadas a cada 200 mm com (largura x comprimento) de 600 x 3000mm conforme norma de fabricação do aço SAE-1008 referência POLEODUTO ou equivalente.	pc
<p>LÂMPADAS</p>									
 <p>Lâmpada , fluorescente tubular com diâmetro de 26 mm base tipo G-13 fluxo luminoso de 1200 lumens</p>									
280	281	282	OBSERVAÇÃO						
	3 x 1,5 mm ²	PRY-SMAN	15	m					
	3 x 2,5 mm ²	PRY-SMAN	262	m					
 <p>Lâmpada , fluorescente tubular com diâmetro de 26 mm base tipo G-13 fluxo luminoso de 2700 lumens</p>									

Figura 30 – Listas de Materiais da Disciplina de Elétrica Industrial extraídas pelo MEX: (a) lista com descritivo e imagens e (b) lista disciplinar para compra

Fonte: acervo técnico Empresa "B"

A Figura 31 ilustra, fase a fase, a extração de listas de materiais para compras. As imagens foram retiradas da tela do MEX antes da importação da lista de materiais; da tela do Excel ilustrando quais arquivos geraram a lista com também a lista total para compras, no Excel, contemplando todos os modelos 3D do empreendimento.

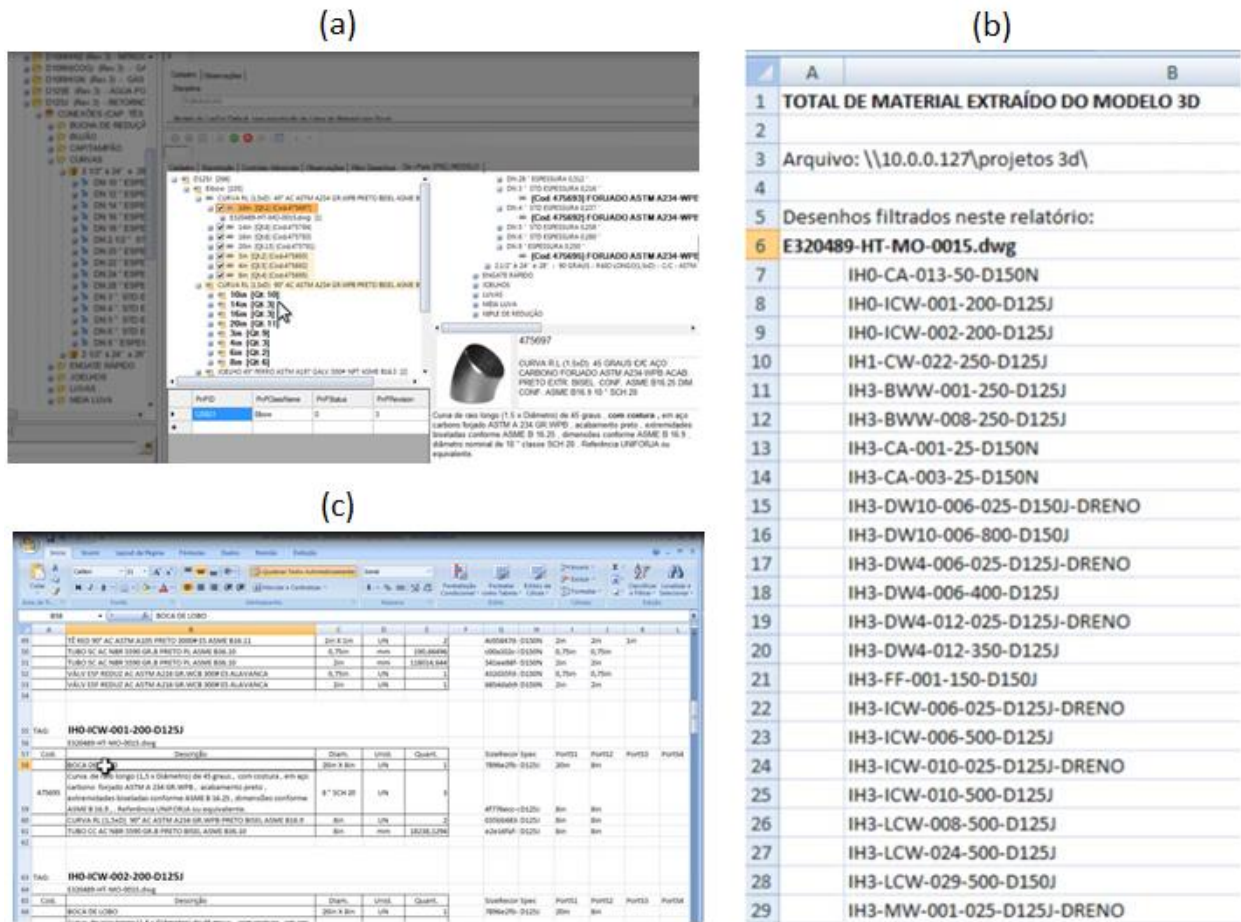


Figura 31 – Modelo de Lista de Materiais extraídas do Modelo 3D via MEX: (a) tela do MEX antes da importação; (b) lista dos desenhos 3D de origem que geraram a lista e (c) lista total para compras advinda da integração dos modelos

Fonte: acervo empresa "A"

3.6.2. Etapas de Integração do MEX aos modelos tridimensionais disciplinares

A seguir são apresentadas as etapas para integração do MEX – Material Explorer - ao Modelo 3D parametrizado, por disciplina:

- a) Desenvolvimento das Especificações de Projeto (SPEC's) e das famílias de objetos tridimensionais parametrizados;
- b) Exportação das SPEC's e das famílias de objetos às disciplinas de modelagem (antes do projeto);

- c) Modelagem tridimensional por disciplina (softwares específicos);
- d) Levantamento e seleção dos materiais não previstos inicialmente (se necessário);
- e) Relacionamento dos Tag's de linhas;
- f) Extração dos quantitativos → novas listas de materiais são adicionadas às existentes; por disciplina (área);

Pelo MEX, características intrínsecas aos materiais, relevantes à modelagem paramétrica, como peso, espessura, tipo de material, por exemplo, podem ser inseridas aos componentes, mesmo depois de sua modelagem. Comumente essas famílias de objetos, com a especificação e material, são enviadas, pelo MEX, às ferramentas de modelagem orientada a objetos, utilizadas por cada disciplina.

A Figura 32 ilustra uma especificação de material desenvolvida via MEX, ilustrada por meio da árvore hierárquica do banco de dados da ferramenta. Pode ser observado, à direita da figura, que, esta especificação, enviada aos softwares BIM (ou de modelagem paramétrica industrial), possui informações para composição de listas de compras, modelagem paramétrica, dados e descrições do fornecedor de materiais.

The screenshot shows the MEX software interface. On the left is a hierarchical tree of materials. On the right is a detailed specification window for a pipe. The window includes a table titled "Dimensões e pesos dos tubos com e sem costura" (Dimensions and weights of pipes with and without weld) based on ASME B36.10M-2000. The table lists nominal diameters, wall thicknesses, and weights for various pipe sizes and schedules.

Diâmetro nominal polegadas (DN) Pipe Size Inches (NPS)	Diâmetro nominal milímetros (DN) Pipe Size metric (S)	Diâmetro externo/Outside Diameter		Espessura da parede/Wall Thickness		Peso/Weight		Identificação	
		Polegadas, mm	Polegadas, mm	Polegadas, mm	Polegadas, mm	STD, X-S, XX-S	Schedule N°		
1/8		0.405	10.3	0.049	1.24	0.19	0.26		10
				0.057	1.45	0.21	0.32		30
				0.068	1.73	0.24	0.37	STD	40
				0.095	2.41	0.31	0.47	X-S	80
1/4		0.540	13.7	0.065	1.65	0.33	0.49		10
				0.073	1.85	0.36	0.54		30
				0.098	2.24	0.43	0.63	STD	40
				0.119	3.02	0.54	0.80	X-S	80

Figura 32 - Especificação de material da disciplina de tubulação pelo MEX – material parametrizado enviado a diferentes ferramentas de modelagem

Fonte: Arquivo Empresa “B” – “Print da Tela do MEX”

A Figura 33 exemplifica uma especificação material com informações quanto à geometria dos objetos paramétricos a serem modelados em softwares BIM ou de modelagem paramétrica industrial.

Item	Ordem	Código	Node	Desc. Resumido	Desc. Detalhado	Isom. Resumido	Isom. Detalhado
1	1.000000		10 x 20 x 5 cm	10 x 20 x 5 cm	10 x 20 x 5 cm	10 x 20 x 5 cm	10 x 20 x 5 cm
4	2.000000		12,5 x 25 x 6,25 cm	12,5 x 25 x 6,25 cm	12,5 x 25 x 6,25 cm	12,5 x 25 x 6,25 cm	12,5 x 25 x 6,25 cm
3	3.000000		12,5 x 12,5 x 6,25 cm	12,5 x 12,5 x 6,25 cm	12,5 x 12,5 x 6,25 cm	12,5 x 12,5 x 6,25 cm	12,5 x 12,5 x 6,25 cm
5	4.000000		15 x 15 x 7,5 cm	15 x 15 x 7,5 cm	15 x 15 x 7,5 cm	15 x 15 x 7,5 cm	15 x 15 x 7,5 cm
2	5.000000		12 x 25 x 6,25 cm	12 x 25 x 6,25 cm	12 x 25 x 6,25 cm	12 x 25 x 6,25 cm	12 x 25 x 6,25 cm
6	6.000000		15 x 30 x 7,5 cm	15 x 30 x 7,5 cm	15 x 30 x 7,5 cm	15 x 30 x 7,5 cm	15 x 30 x 7,5 cm

Figura 33 - Especificações geométricas de um bloco ecológico na árvore hierárquica (Base de Conhecimento) do MEX.

Fonte: Arquivo Empresa “B”

A Figura 34 e Figura 35 ilustram as especificações de um mesmo material, com dados paramétricos, a serem importadas do MEX para os softwares Plant 3D, da empresa Intergraph e para o PDMS, plataforma da empresa AVEVA.

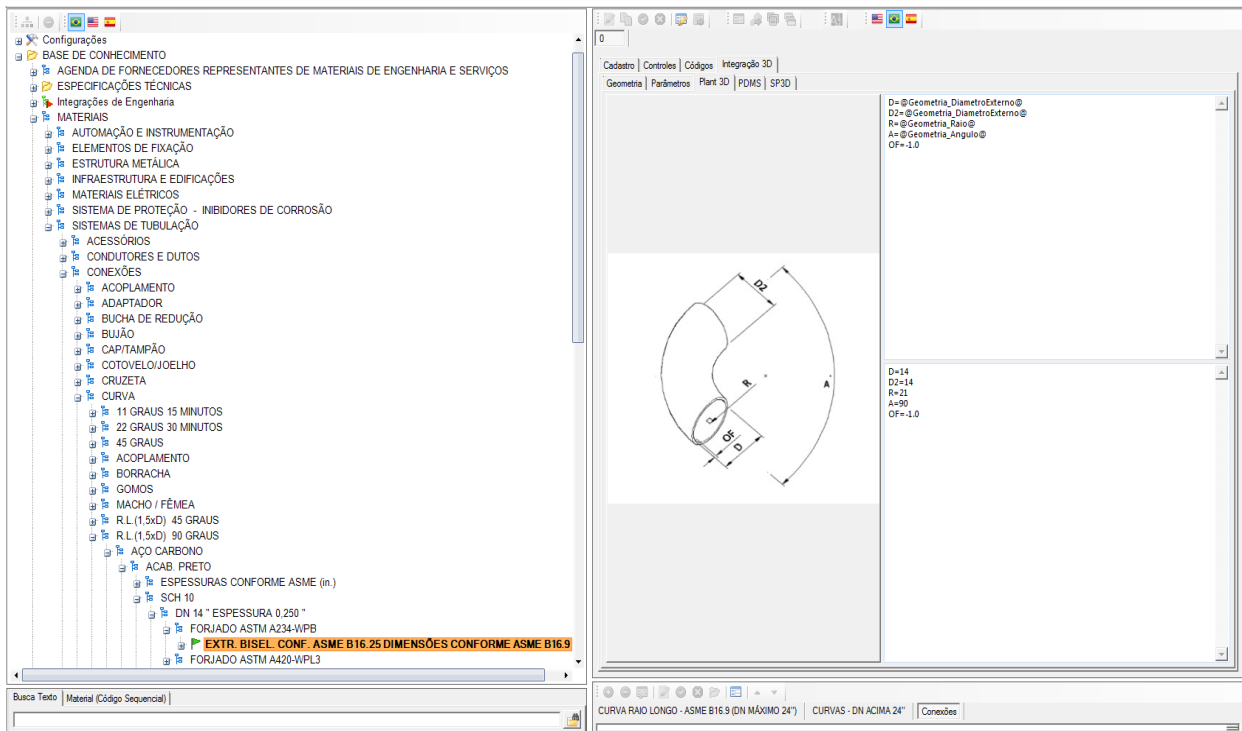


Figura 34 - Exemplo de especificação de material com Informações de geometria - a ser importada da ferramenta MEX para o Software Plant 3D (Intergraph).

Fonte: Acervo técnico Empresa “B”

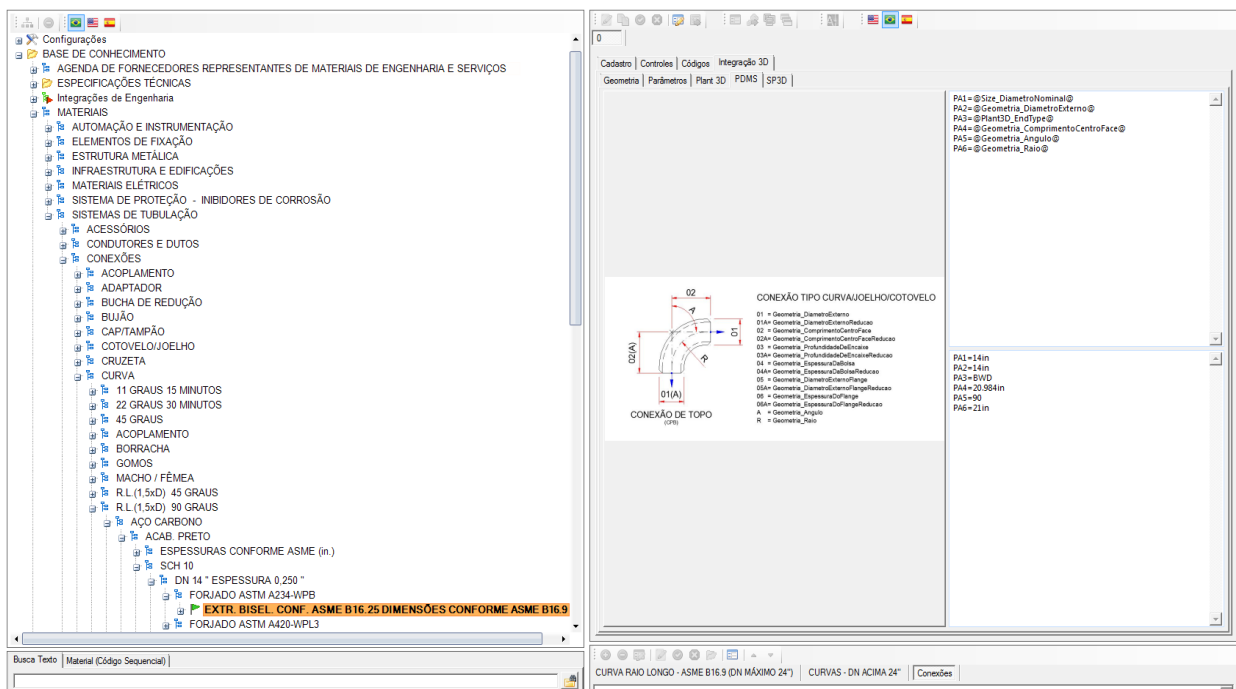


Figura 35 - Exemplo de especificação de material com Informações de geometria - a ser importada da ferramenta MEX para o Software PDMS (AVEVA).

Fonte: Acervo técnico Empresa “B”

A Figura 36 ilustra um objeto paramétrico de representação de uma tubulação, exportado a partir do MEX e recebido pelo software Autodesk Plant 3D.



Figura 36 - Trecho de uma tubulação, com geometria criada no MEX, importada e gerada na ferramenta Plant 3D.

Fonte: arquivo Empresa "B"

A Figura 37 ilustra uma operação de exportação de um objeto 3D parametrizado, criado no MEX, para os softwares SmartPlant 3D (Intergraph), PDMS (Aveva) e Plant 3D (Autodesk). O fluxo ilustra também o retorno de informações de quantitativos de materiais do modelo para o MEX.

Por meio do próprio MEX as informações de projeto (especificações de materiais e dados geométricos parametrizados) podem ser repassadas de uma ferramenta para outra, mesmo que não haja interoperabilidade entre essas ferramentas. Neste caso o MEX atua como um "tradutor". Este tradutor recebe o nome de MEX3D.

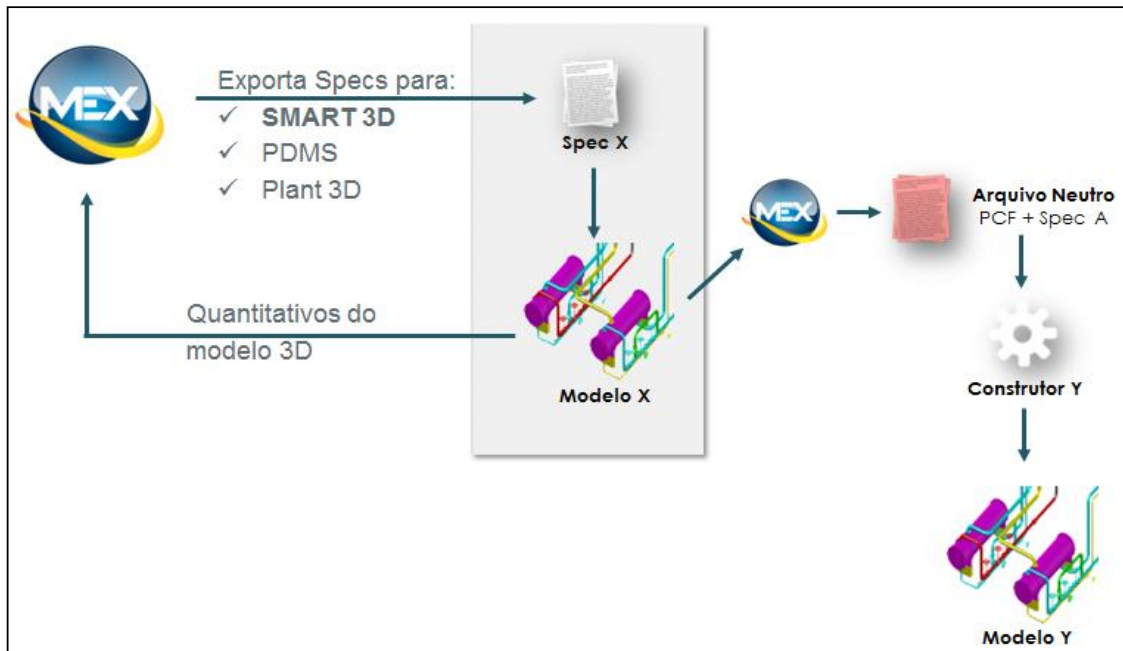


Figura 37 – Objetos Paramétricos (com especificações de materiais) criados no MEX e exportados para softwares de diferentes empresas.

Fonte: arquivo técnico Empresa “B”

3.6.3. Utilização do MEX para Trocas entre ferramentas não interoperáveis

Conforme ilustrado na Figura 38, na ausência de interoperabilidade entre *softwares* de diferentes fornecedores e diante da necessidade de troca de arquivos, em alguns casos o grupo mitiga o problema por meio de um tradutor chamado MEX3D – criado para este fim.

Um dos fluxos mais comuns para esse tipo de troca ocorre da seguinte forma: abastecido de informações da cadeia de suprimentos de materiais e necessidade do cliente, o MEX cria as informações necessárias a dado projeto. Esses dados se referem a especificações de materiais e famílias de objetos paramétricos. Eles são, então, enviados a uma determinada ferramenta de modelagem (Plataforma X). Após elaboração do modelo o MEX, por meio do tradutor MEX3D, pode exportar arquivos a outras ferramentas de criação de modelos orientados a objetos. A linguagem utilizada é o PCF (*Piping Component File*). O PCF é um formato de padrão aberto utilizado por diferentes plataformas para troca de arquivos isométricos referentes à disciplina de Tubulações. Esse modelo poderá ser lido e/ou alterado pelas plataformas que recebem o arquivo; sendo que a retroalimentação com o MEX também é válida para estes. O MEX ainda provê condições aos softwares receptores de inserirem dados paramétricos aos isométricos recebidos.

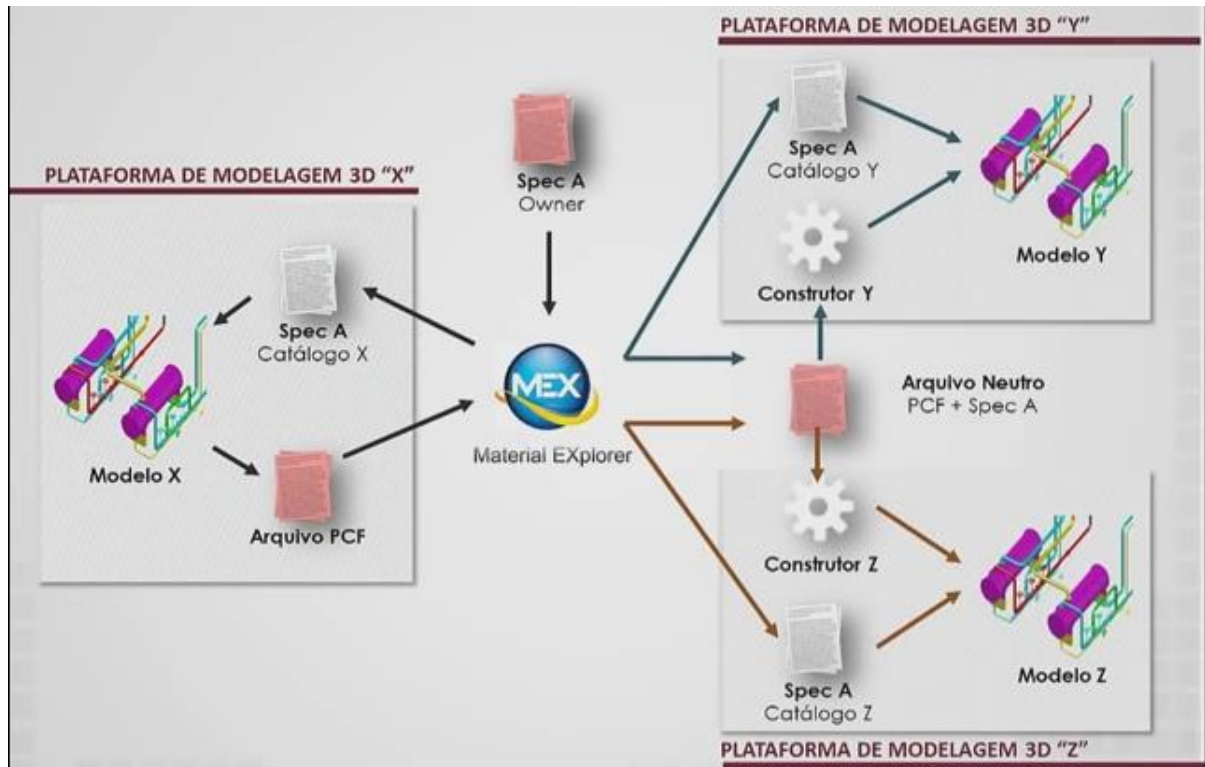


Figura 38 – Troca de dados entre o MEX e ferramentas de modelagem
 Fonte: Arquivo Técnico da Empresa "B"

3.6.4. Troca de Arquivo entre os softwares Bentley AutoPlant X PDMS (Aveva) via MEX

Para conversão, por exemplo, de um modelo de estrutura metálica criada na ferramenta de Plant Design da Bentley (AutoPlant) para o software de mesma utilização da Aveva (o PDMS), o grupo utiliza um conversor intitulado MEX3D, um módulo de conversão inserido dentro software de gestão de materiais MEX - Material Explorer. De acordo com o coordenador da disciplina Automação de Projetos (empresa "B") com este conversor também é possível fazer toda a criação de especificações de 2D ou 3D, exportar e importar no AutoCAD Plant 3D (da Autodesk) e também no PARAGON/SPECON da AVEVA, além de suas funcionalidades nativas para extrair relatórios, listas e documentação diversas. Além disso, é possível converter um modelo 3D desenvolvido em softwares que exportam o formato de padrão aberto SDNF e importar no padrão 3D do PDMS (Aveva).

Inicialmente o arquivo digital 3D de estrutura metálica é importado do AutoPlant (Bentley) para o conversor em formato SDNF. Esse arquivo é então aberto no conversor do Mex, o MEX3D, onde é feito o relacionamento entre os perfis metálicos exportados e os perfis da SPEC

(especificação) do PDMS - Aveva. Dessa forma, todos os perfis terão todos os atributos paramétricos que um objeto criado no PDMS, software de destino.

A Figura 39 ilustra conversão de um arquivo de estrutura metálica entre o AutoPlant e o PDMS.

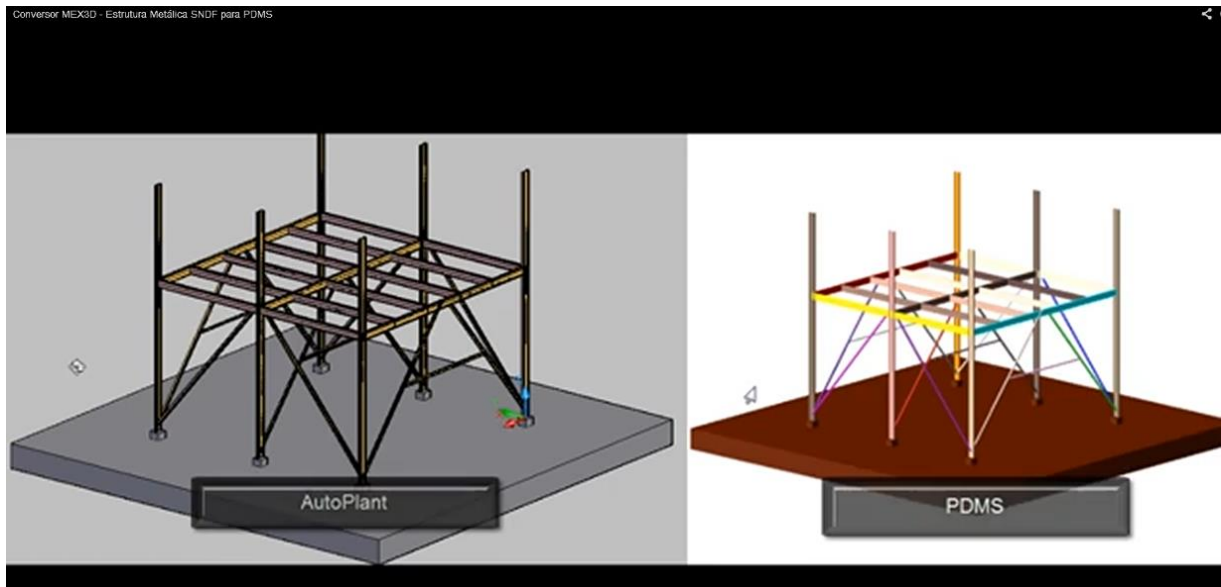


Figura 39 - Conversão de Arquivo do Bentley AutoPlant para Aveva PDMS

Fonte: Adaptado de Arquivo Técnico da Empresa “B”

Conforme ilustrado na Figura 40, mesmo durante o processo de modelagem, por meio das ferramentas BIM utilizadas pelo grupo, segundo informações da Empresa “B”, propriedades internas do MEX podem ser adicionadas a componentes modelados pertencentes a diferentes famílias de objetos paramétricos.

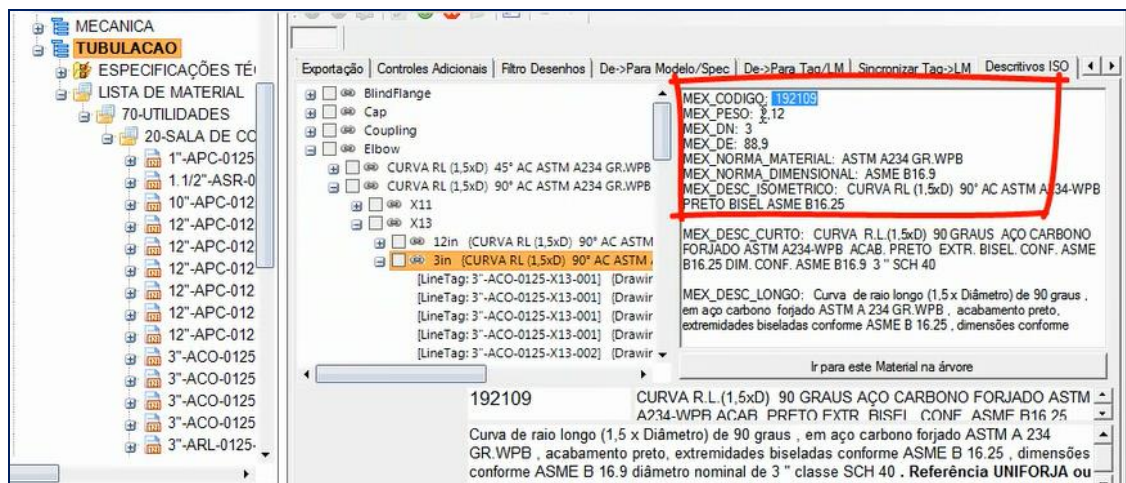


Figura 40 - Informações internas ao MEX que podem ser adicionadas a objetos paramétricos modelados ou em fase de modelagem nos softwares de autoria BIM.

Fonte: arquivo técnico Empresa “B”

O grupo pesquisado tem resolvido o problema de interoperabilidade entre as ferramentas BIM e de modelagem paramétrica de diferentes proprietários. Por meio de ferramenta de gestão MEX, são desenvolvidas as especificações de materiais, com informações reais e atuais, alinhadas com os fornecedores de materiais. Com isso, listas são criadas, exportadas e importadas para as ferramentas BIM (ou de modelagem industrial) e entre dois softwares específicos de modelagem paramétrica ou BIM. Além disso, por meio desta ferramenta de gestão (MEX), convertem-se essas especificações de materiais de Engenharia em algoritmos, que são exportados aos *softwares* de modelagem. Essas informações propiciam a geração de objetos 3D parametrizados e possibilitam a troca desses objetos e/ou famílias de objetos entre o MEX e uma ferramenta de modelagem ou entre duas ferramentas de modelagem, como se lhe fossem um objeto nativo.

3.6.5. Troca de Arquivo entre os Softwares Plant 3D (Autodesk) para o PDMS (Aveva) via MEX

De acordo com o consultor técnico e com o líder da disciplina de Automação de Projetos da empresa “B” e também de acordo com os líderes das disciplinas de tubulações (HT), foi desenvolvido pelas empresas um conversor entre o Plant 3D (Autodesk) e o PDMS (Aveva). Dessa forma, as modelagens principais podem ser desenvolvidas no Plant 3D e exportadas para o PDMS. Este conversor, criado com auxílio da ferramenta de gestão, chama-se MEX 3D. Isso ocorre, segundo os entrevistados em função do alto custo da licença do PDMS. Em média, para se terem 70 licenças da ferramenta da AVEVA, atualmente, precisa-se investir, pelas empresas quase três mil dólares mensais. As licenças do software da Autodesk, segundo informações das empresas, são economicamente mais acessíveis.

A Figura 41 ilustra um modelo da disciplina de Tubulações elaborado com o suporte da ferramenta Plant 3D (da empresa Autodesk) e exportado via tradutor MEX3D para a ferramenta de design de plantas industriais da Aveva (PDMS).

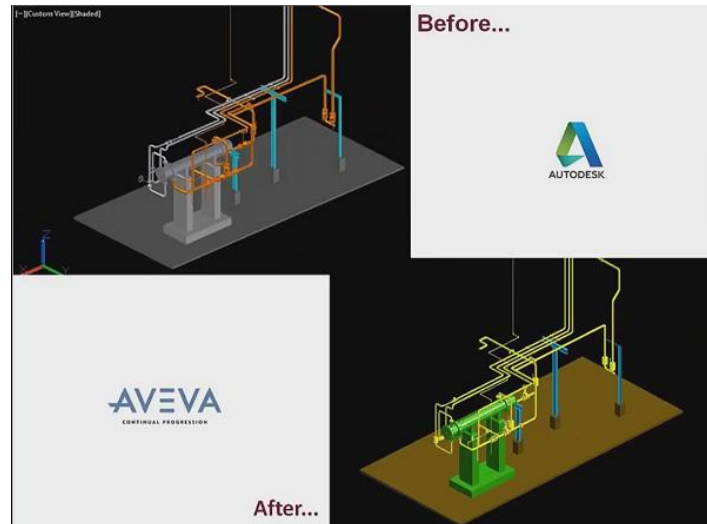


Figura 41 – Modelo 3D da disciplina de Tubulações (HT) criado no Plant 3D (Autodesk) e exportado via MEX3D para o PDMS (Aveva)

Fonte: Arquivo empresas pesquisadas

Deve-se salientar, aqui, que, apesar da grande utilidade do Plant 3D para a modelagem, este software não possui modelagem parametrizada. De acordo com a Autodesk esta ferramenta é desenvolvida sobre a plataforma do AutoCAD. Pode ser utilizado para desenhos isométricos e ortográficos em modelagem de plantas industriais.

3.6.6. Spiceworks – Ferramenta de suporte à Gestão da Comunicação

O Spiceworks é um portal utilizado para gestão da comunicação entre os diferentes agentes das diferentes disciplinas de projeto, durante todo o seu processo de desenvolvimento.

Sempre que surge uma necessidade de apoio técnico (Automação de Projetos) as disciplinas de projetos das Empresas “A”, “C” e “D”, por meio de acesso *online* ao portal Spiceworks, fazem a solicitação à Empresa “B” por meio de um procedimento chamado “Abertura de Chamado”. Essas necessidades podem ser:

- **Quanto aos softwares de modelagem paramétrica:** dúvidas quanto a uso da ferramenta; necessidade de criação, alteração ou atualização de famílias de objetos paramétricos; travamento da máquina, criação ou edição de SPECs (especificações de Engenharia);
- **Quanto ao MEX:** Criação e/ou alteração de objetos paramétricos quanto a materiais, instalação de softwares, permissões de acesso e pesquisas;
- **Quanto ao Projeto:** Liberação ou alteração do modelo 3D, criação de vídeo, emissão de documentação 3D, inserção do modelo no Navisworks, extração de isométricos, extrações 2D, permissão para acesso ao modelo/projeto, renderização, etc.

A seguir estão descritas algumas regras para abertura de chamados no Spiceworks pelas disciplinas de projeto:

- Os atendimentos só serão efetuados mediante a abertura de chamados no Spiceworks;
- Os líderes do projeto irão receber somente duas notificações (Abertura e fechamento) quando os chamados não forem abertos por eles;
- Somente a Empresa “B” ou o colaborador que abriu o chamado podem fechá-lo;
- Os líderes podem solicitar os relatórios de atendimento para a sua disciplina a qualquer momento;
- Os chamados abertos são direcionados para os responsáveis da Empresa “B” que irão conduzir o atendimento de acordo com a ordem de abertura de chamados, sendo que o líder do projeto pode, a qualquer momento, alterar esta ordem;
- Para que os líderes do projeto possam receber os comunicados do Spiceworks basta que, na abertura do chamado, seja escolhida uma das opções de chamados referentes a: *(i)* alteração do modelo 3D; *(ii)* criação de vídeo; *(iii)* emissão de documentação 3D e *(iv)* inserção do modelo da disciplina na Navisworks.

O fluxo de abertura de chamados pelas disciplinas à Empresa “B” pode ser melhor visualizado no fluxograma da Figura 42.

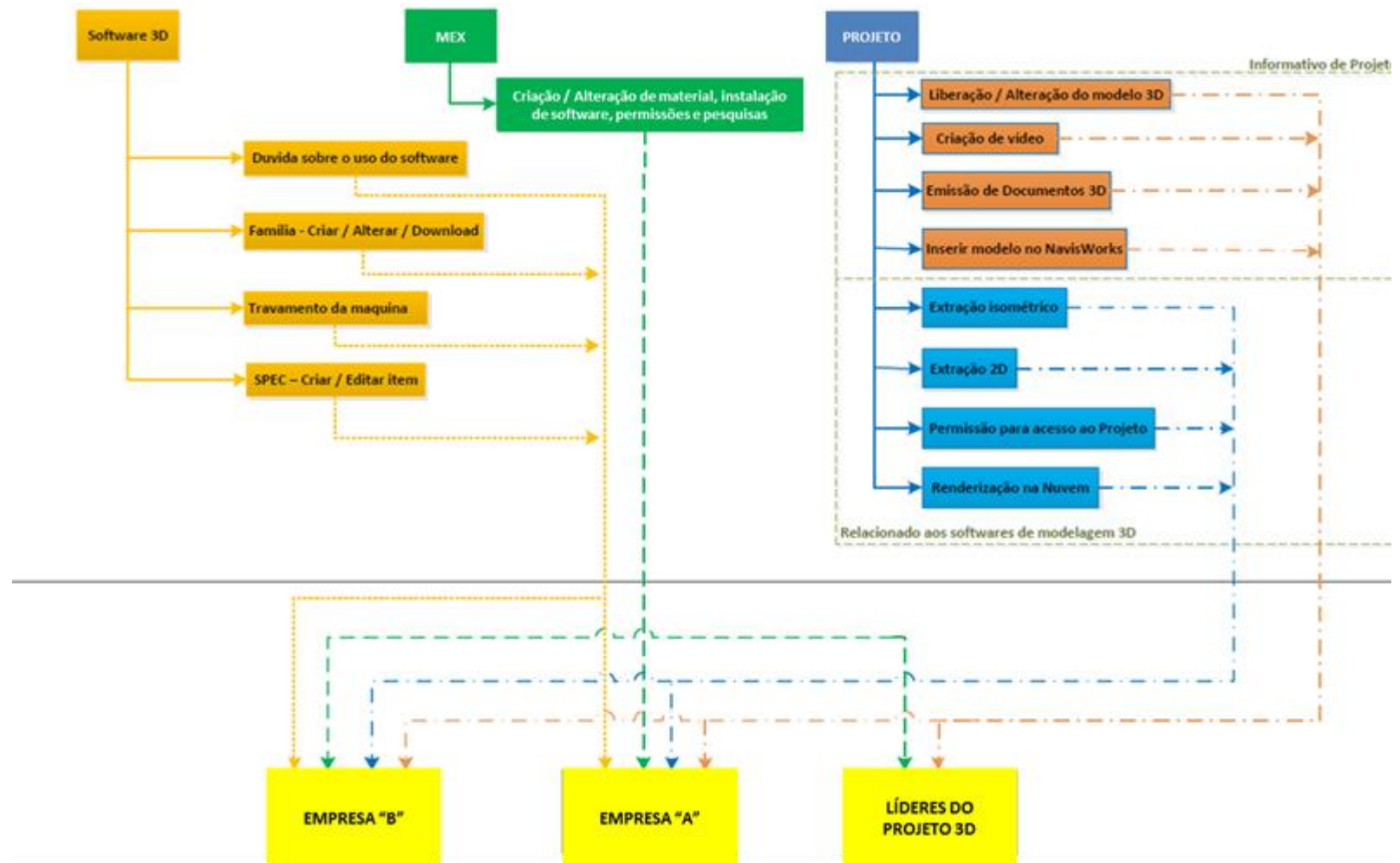


Figura 42 – Fluxograma de abertura e atendimento de chamados pelas disciplinas de projeto das empresas “A”, “C” e “D” à equipe de Automação de Projetos (Empresa “B”) por meio do portal Spiceworks
 Fonte: Adaptado de Arquivo Técnico das empresas “A” e “B”

Após abertura de quaisquer chamados por parte das disciplinas de projeto; a empresa “B” toma as seguintes providências, de acordo com as necessidades dos projetistas:

- **Dúvida quanto ao uso do *software*:** O colaborador é orientado quanto à forma correta de utilização da ferramenta;
- **Solicitação de criação, alteração ou downloads de biblioteca de objetos paramétricos:** Verifica-se a necessidade real desta solicitação. Caso realmente haja a necessidade, biblioteca é disponibilizada ou alterada à disciplina solicitante;
- **Criação e/ou edição de item de SPEC’s:** É feito um levantamento junto à equipe de materiais. Em havendo a necessidade, o item é criado ou editado no *software* em questão;
- **Travamento da máquina:** É feita uma análise para verificar se as ferramentas instaladas estão causando o problema. Em caso positivo, uma solução deve ser dada pela Empresa “B”. Caso o problema não seja passível de resolução por parte desta empresa, uma equipe de TI externa, contratada para este fim, é comunicada;
- **Criação / Alteração de material, instalação do *software*, permissões e pesquisas:** (i) É analisada a necessidade de atendimento e, caso positivo, o item é criado ou editado na ferramenta MEX – Material Explorer - ou o *software* é instalado. Se houver necessidade, é feita uma comunicação com o fabricante do software; (ii) são disponibilizadas, para a equipe de administradores 3D, informações necessárias ao MEX e o material de apoio para a criação ou alteração dos itens nos catálogos e famílias de objetos paramétricos dos softwares 3D;
- **Alteração do modelo 3D:** Os modelos 3D são exportados do Revit para o AutoCAD Plant 3D e disponibilizados para a disciplina Tubulação;
- **Criação de vídeo:** É analisada a real necessidade da criação do vídeo antes de sua criação, que pode ser pelo NavisWorks ou em 3D MAX;
- **Emissão de documentos 3D:** Se necessário, os arquivos serão exportados para a extensão exigida e disponibilizados em ambiente de compartilhamento com o cliente;
- **Extração 2D ou isométrico:** É identificada se é necessário auxílio ao colaborador ou se a extração dos documentos deve ser feita apenas pela Empresa “B”. O auxílio é dado ao colaborador em casos necessários. Por outro lado, para extração dessa documentação por parte da empresa “B” um equipamento é disponibilizado par isso;
- **Inserção do modelo no NavisWorks:** O modelo 3D desenvolvido pela disciplina é disponibilizado no “Review” do NavisWorks para que seja visualizado pelas demais disciplinas;

- **Permissão para acesso ao Projeto:** É verificado se o colaborador realmente precisa de permissões no projeto e, caso proceda, a TI da empresa contratada é informada para liberar o acesso as pastas do projeto pertinentes a disciplina solicitante;
- **Renderização em Nuvem:** São geradas imagens no Revit por intermédio da Nuvem Computacional, disponibilizada pela Autodesk.

Pelo Spiceworks o gerente de projeto ou líder da disciplina consegue gerenciar o prazo de atendimento de um chamado pelos projetistas ou desenhistas à Empresa “B” – Automação de Projetos e Engenharia de Materiais.

3.7. Troca de dados entre os softwares utilizados pelo grupo pesquisado

Como forma resumirem as trocas de informações de projetos entre as várias ferramentas utilizadas pelo grupo pesquisado, nas diferentes fases de projeto e ilustrar a linguagem utilizada nessas idas e vindas, compilou-se, neste trabalho, um fluxograma que apresenta as Fases *versus* Disciplinas de Projeto. Para cada disciplina e em cada fase foram mostrados os softwares utilizados pelo grupo detalhando-se os formatos (extensões) em que essas ferramentas recebem e/ou enviam as informações de projeto a outras fases (anteriores ou subsequentes) e/ou disciplinas.

As informações foram adquiridas exclusivamente por meio de entrevistas e reuniões a diferentes envolvidos no processo de projeto, a saber: coordenador de projetos, líderes das disciplinas, líderes de projetos específicos, engenheiros das diferentes áreas, arquitetos, calculistas, projetistas, desenhistas, consultor técnico e administradores 3D.

O cargo “*Administrador 3D*” é utilizado pelo grupo para se referir aos profissionais de Automação de Projetos (Empresa “B”) que dão o suporte necessário às equipes de projetos. Esse suporte ocorre desde tarefas de resolução de conflitos de linguagem entre as ferramentas 3D até trabalhos como disponibilização de famílias de objetos paramétricos a *softwares* de modelagem e emissão da documentação entregue ao cliente. Essas informações podem ser obtidas, de forma mais detalhada, no item 3.10 – Fluxo de desenvolvimento de modelagem 3D por disciplina.

3.7.1. Fluxo entre *softwares* na Disciplina de Processo (KP)

A disciplina de Processo (KP) é utilizada pelo grupo para desenvolvimento de diagramas e fluxogramas que nortearão o projeto da planta industrial. Eles são produzidos, basicamente, com

o suporte da ferramenta 2D inteligente P&ID - *Piping and Instrumentation Diagram* ou Diagrama de Tubulações e Instrumentação. Esse processo será a base para todas as outras disciplinas trabalharem. Nesses diagramas e fluxogramas são definidos os equipamentos que serão utilizados na planta, a ligação entre eles (por exemplo, se existirá, no projeto, tubos de 6”, 10”, 12” ligando os equipamentos, etc.) e qual o produto que entra e que sai da planta. Antes que qualquer modelagem se inicie, essas premissas de projeto são definidas na disciplina de Processo (KP). Quem cria o modelo Mecânico, por exemplo, não escolhe se vai utilizar ou não um moinho de bolas (ou outros equipamentos) no processo da planta industrial. Ele importa ou utiliza essa informação do fluxograma definido no Processo (KP), que trata da inteligência da Planta Industrial. É nela que essas decisões são tomadas. A disciplina do Processo Industrial (KP) define as posições dos equipamentos que serão utilizadas para no modelo da Mecânica (MM). O modelador, então, faz um estudo espacial em um arranjo para que aquele equipamento a ser modelado, de forma a não causar interferências com dispositivos anteriormente posicionados por KP. Os entrevistados nesta disciplina foram o gerente do projeto (da empresa “A”), o consultor técnico de Automação de Projetos (AP) e Engenharia de materiais e o líder da disciplina AP (empresa “B”).

Um fato interessante é que na fase de gestão de materiais (Fase E) a disciplina Processo (KP), junto aos profissionais de Automação de Projetos define todas as especificações de materiais que as outras disciplinas utilizarão para modelagem ou elaboração do projeto do empreendimento.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina KP – Processo.

Quando o processo (KP) não é pré-definido pelo cliente, inicia-se, na fase de projeto conceitual, um estudo do processo da planta industrial. Trata-se da rota do processo. Esta fase é utilizada, principalmente, para estudo de viabilidade do empreendimento. O projeto básico é iniciado após o término do estudo de viabilidade. No conceitual, faz-se um estudo do melhor processo para a atividade em questão. Além disso, é realizado um estudo do mercado de suprimentos, com várias reuniões com fornecedores de equipamentos e de materiais para verificação de quais equipamentos e materiais os diferentes fabricantes poderão fornecer para atendimento às demandas do projeto e da planta a ser construída. A partir dessa definição, inicia-se o projeto básico, onde os equipamentos são escolhidos de forma definitiva.

Este envolvimento do fornecedor de equipamentos e de materiais, na fase inicial do processo de projeto – por parte do grupo pesquisado - pode indicar um passo em direção à integração da cadeia de suprimentos citada por Taylor e Bernstein (2009), sem, contudo, tangenciar este estágio. De acordo com os autores, ao passo que as empresas aumentam suas experiências em projetos BIM, a prática de paradigmas BIM em nível da empresa (dentro de uma empresa) tende a evoluir cumulativamente ao longo de uma trajetória composta por quatro passos ou paradigmas: visualização, coordenação, análise e integração da cadeia de suprimentos. Os autores reforçam, no entanto, que, o ato de se evoluir para este último nível - integração da cadeia de suprimentos - envolve o compartilhamento de dados BIM na cadeia, bem como a reconfiguração do processo de colaboração entre os agentes; como resposta a uma abordagem de modelagem muito mais integrada.

Essa interação do grupo pesquisado com os fornecedores de materiais ou equipamentos, não possui características de um compartilhamento integrado de informações, mas apenas um envolvimento colaborativo, pois não há compartilhamento de dados BIM com a cadeia. Isso pode, no entanto, apresentar indícios de reconfiguração do processo de colaboração entre os agentes; uma vez que os fornecedores de materiais colaborariam de forma indireta com o processo de projeto, ao passo que fornecem informações atualizadas quanto às linhas de produtos e materiais, bem como as facilidades e dificuldades no processo de fornecimento; além de informações de teores normativos e legais.

Vale salientar que este envolvimento deveria ser, ideologicamente, em nível de BIM - como citado por Taylor e Bernstein (2009) - e de modelagem industrial orientada a objetos paramétricos; vez que o grupo desenvolve projetos industriais que possuem diversas instalações e infraestruturas, englobando, necessariamente, disciplinas de projetos comuns ao setor AEC - que seria o foco da tecnologia BIM - e disciplinas comuns a outras indústrias.

A ferramenta de modelagem 2D P&ID é utilizada pelo grupo na disciplina Processo (KP) na fase Projeto Básico para composição de diagramas e ligações entre diferentes equipamentos de uma planta industrial. Trata-se de um conceito; uma modelagem bidimensional inteligente. Tomando-se, por exemplo, dois equipamentos - vaso de pressão e uma bomba – equipamentos utilizados em indústrias de petróleo, petroquímicas, etc. O vaso de pressão é somente um esquema; assim como a bomba. Existe uma linha, entre eles, ilustrando uma ligação. Cada esquema tem suas propriedades (tag, capacidade de vazão e pressão, etc.). Essa linha que liga os dois equipamentos possui uma SPEC (especificação de projeto), ou seja, estes diagramas não são apenas desenhos

ou representações. Portanto, essa ferramenta é considerada, de acordo com os entrevistados, um pouco mais inteligente do que um CAD 2D, que também é utilizado nesta fase.

Na fase de projeto detalhado, a disciplina de processo faz apenas revisões e adequações pontuais referentes ao processo do empreendimento industrial.

A Figura 43 ilustra um púlpito de controle de desempenadeira de aço a quente. Todo o processo deste equipamento é descrito pela disciplina KP, sendo o modelo 3D elaborado por diferentes disciplinas de projeto. Na referida imagem encontram-se modelos integrados das disciplinas de Mecânica (MM), Tubulações (HT), Estruturas Metálicas (ST), Arquitetura (CA), Concreto Armado (CC) e Elétrica (EI).

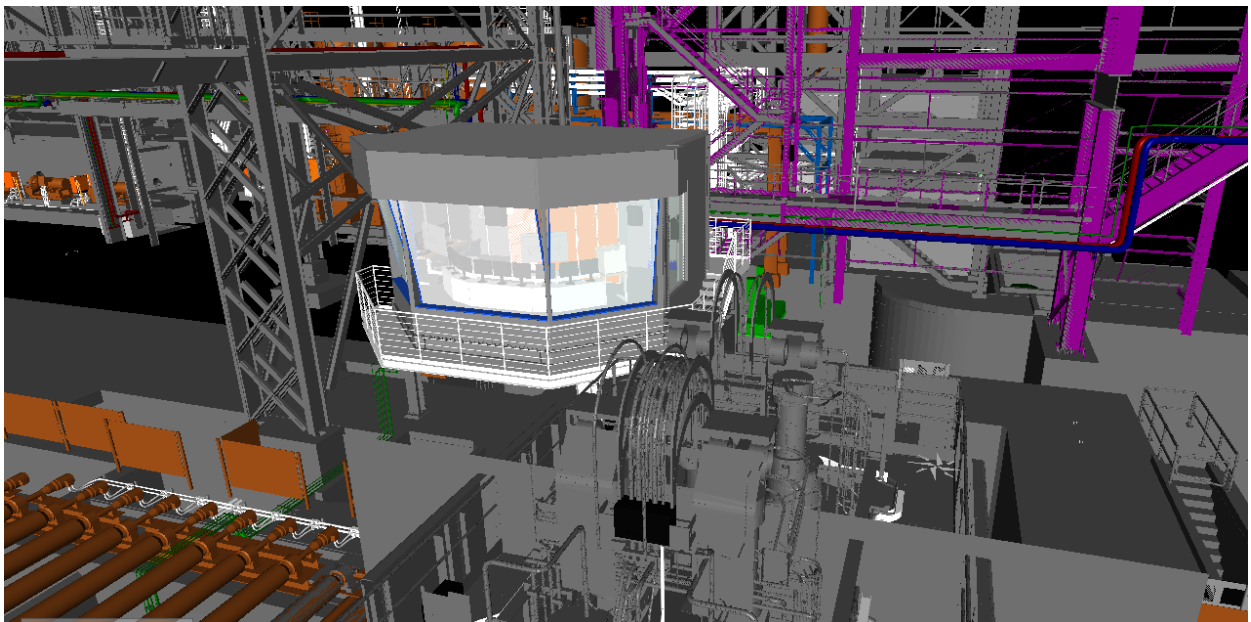


Figura 43 – Púlpito de Controle de Laminação a Quente. Modelo Interdisciplinar
Fonte: acervo técnico do grupo pesquisado

Nesta fase a disciplina de processo fazem simulações de cálculo de perda de cargas nas curvas e nas bombas por meio de ferramentas inteligentes 2D (P&ID - *Piping and Instrumentation Diagram*).

Pelo fato de não possuir uma representação 3D a disciplina de processo (KP) da planta industrial não é englobada pelo modelo único compilado para o projeto geral. A ênfase do trabalho de Engenharia dessa equipe é voltada à inteligência do empreendimento. São conceitos de Engenharia voltados à lógica do empreendimento.

Na fase de gestão de materiais a disciplina Processo (KP) define as especificações de materiais que as outras equipes utilizarão para composição de seus modelos. Quando se define que uma tubulação que liga um equipamento a outro terá 10 polegadas, por exemplo, o material desta tubulação também é definido. As demais disciplinas utilizam da especificação de materiais desta disciplina.

Nesta fase o MEX alimenta o PDMS, o Plant e o Smart 3D (antigo Smart Plant 3D) com especificações e famílias de objetos que serão utilizados na elaboração do modelo das disciplinas de Elétrica Industrial (EI) e Tubulação (HT).

Como em outras disciplinas, para a gestão do conhecimento, KP utiliza especificações comuns criadas em projetos anteriores de Engenharia para projetos atuais e futuros. A Gestão do Conhecimento trata o Projeto de Engenharia como um todo e não apenas de material. Todo o conhecimento utilizado em projetos anteriores é guardado em bancos de dados e reaproveitado a cada novo projeto, utilizando-se sempre as boas práticas de Engenharia dedicadas a projetos já realizados. As informações de especificações de materiais e as bibliotecas baseadas em famílias de objetos paramétricos ficam armazenadas em um banco de dados do MEX. Já os modelos 3D são arquivados em um banco de dados específico.

O produto entregue ao cliente é composto por Diagramas e Fluxogramas. Essa é a base para todas as outras disciplinas trabalharem. No P&ID são definidos os equipamentos, tipo e forma de ligação entre eles e o produto que entra e que sai da planta. Como supracitado, os fluxogramas são premissas para o projeto em geral. Nesta etapa os equipamentos que serão instalados no empreendimento estão definidos.

O produto a ser entregue ao cliente é compilado em ferramentas padrão como o AutoCAD e o MS Excel com informações para aquisições de equipamentos e materiais pelo cliente junto aos fornecedores. Mediante essas ferramentas são gerados desenhos e folhas de dados, respectivamente. O formato da documentação entregue ao cliente é, portanto, DWG 2D geradas pelo AutoCAD ou pelo P&ID e XLSX (planilhas de dados gerados pelo MS Excel. Essa documentação também pode ser entregue impressa. e papel.

As planilhas são compostas manualmente pelo grupo pesquisado. Nesta disciplina não há extração automática de documentações.

Pelo fluxo de desenvolvimento do projeto nesta disciplina (KP), pode-se notar que o conceito BIM - ou de modelagem paramétrica industrial - não engloba todas as disciplinas de projeto do grupo pesquisado. O ideal seria que a equipe de Engenharia desta área (voltada à lógica e inteligência do empreendimento) trabalhasse com tecnologias inteligentes, realizando simulações para otimização do processo, com extração automática de relatórios e outras documentações ao final do projeto. Além disso, a modelagem nesta disciplina poderia se agregar ao modelo tridimensional elaborado pelas demais equipes, o que poderia propiciar facilidades aos gestores do processo de projeto.

3.7.2. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Mecânica (MM)

De acordo com os engenheiros mecânicos entrevistados a disciplina mecânica (MM) normalmente abre frente às outras, com exceção do Processo (KP). O arranjo mecânico (alocação dos equipamentos) prevalece em relação ao trabalho das demais disciplinas. A Metálica (ST) precisa enxergar o arranjo mecânico para desenvolver a estrutura de suporte. A Tubulação (HT) precisa do *layout* dos equipamentos para montar a rota da tubulação e alimentá-los com as utilidades (ar comprimido, água, óleo, etc.). Nesse caso a disciplina Mecânica (MM) utiliza o PDMS para alocação dos equipamentos e a disciplina de Tubulações (HT) faz uso deste mesmo *software* para modelagem das redes. A ferramenta NavisWorks (da Autodesk) ainda é utilizada para composição de um modelo único entre as disciplinas (visualização e verificação de interferências). Vale salientar que o Navis também é utilizado para dar o mesmo suporte às demais disciplinas. No Conceitual, MM aloca os equipamentos no PDMS, cria-se um ambiente integrado, e HT conecta as utilidades utilizando a mesma ferramenta.

Segundo os entrevistados o *software* utilizado para a alocação do arranjo mecânico dos equipamentos pode variar de acordo com a necessidade do cliente. As ferramentas mais utilizadas são o PDMS (Aveva) e o Revit (Autodesk) pois, esses, normalmente, fazem interface com demais disciplinas, possibilitando trabalhar-se em plataforma unificada. Eles informaram que há clientes que exigem um dado *software* e outros deixam essa questão a cargo das empresas projetistas.

O *software* Inventor é utilizado para modelagem de um elemento isolado de um dado equipamento, como por exemplo, uma bomba, um compressor, um reservatório, um vaso de

pressão, etc. Na montagem do arranjo mecânico utiliza-se outro *software* que faz a compatibilização e interface com as outras disciplinas, como o Revit, por exemplo.

Em casos de problemas de interoperabilidade entre *softwares*, a empresa “B” atua no sentido de resolver a questão. Um exemplo disso, segundo os entrevistados, é quando a Elétrica (EI) trabalha no Revit (modelagem) e Mecânica (MM) com o Inventor (modelagem) e com o PDMS (alocação de equipamentos). Nesse caso a Empresa “B” converte o modelo, do PDMS (via MEX 3D) para o Revit para que a Elétrica consiga trabalhar.

De acordo com o consultor técnico da Empresa “B”, com o Líder da disciplina Mecânica (Empresa “A”) e outro engenheiro, da mesma disciplina, a Mecânica é a disciplina que mais recebe *inputs* externos. Trata-se de desenhos de equipamentos (DF’s) nas etapas do projeto Conceitual e Básico.

Quando não desenvolvidos pelo grupo pesquisado, a modelagem do projeto conceitual e básico de equipamentos é elaborada pelo fornecedor de equipamentos. Esses desenhos, internamente ao grupo pesquisado, recebem o nome de Desenhos de Fornecedores, ou simplesmente DF’s. Neste caso somente a alocação dos equipamentos fica a cargo do grupo pesquisado.

De acordo com o consultor Técnico da Empresa “B”, no início esses desenhos (DF’s) vinham do fornecedor em formatos 2D. Atualmente vêm, também em 3D. Quanto aos *softwares* esses desenhos de fornecedores (DF’s) vêm, mais comumente, em AutoCAD 2D e 3D, em Microstation, Solidworks e Inventor. Os DF’s podem ainda ser subdivididos em dois grupos: Desenhos de Referências (medidas nominais, cargas nominais) e Desenho de Fabricação do Equipamento (detalhes dos apoios, etc.).

Quando esses DF’s não vêm prontos, o grupo pesquisado cria o modelo 3D de equipamentos, a partir do Inventor, que é o *software* principal de modelagem da Mecânica. Não há modelagem 3D na fase conceitual de projeto.

De acordo com o líder da disciplina MM, para que um projeto seja executado pelo grupo pesquisado, precisa-se passar, esquematicamente, pelas seguintes fases do fluxo do Projeto: Licitação → Propostas Técnicas e Comercial → Equalização Técnica → Pedido de Compra → Gerente do Contrato → Líder da Disciplina → Projetistas → Desenhistas → entrega projeto ao cliente.

Os entrevistados em relação à disciplina Mecânica (MM) foram: o líder da disciplina mecânica (empresa “A”), o líder de um dado projeto mecânico em desenvolvimento (engenheiro mecânico da empresa “A”), o consultor técnico em Automação de Projetos e Engenharia de Materiais (empresa “B”) e o líder da disciplina de Automação de Projetos da empresa “B”.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina MM – Mecânica.

Segundo informações dos entrevistados, quando o escopo do grupo pesquisado é elaborar as fases de projeto Conceitual, Básico e Detalhado, a Mecânica precisa trabalhar com algumas informações da disciplina de Processo. Em um projeto de Mineração, por exemplo, necessita-se conhecer toda a rota do processo mineral, do beneficiamento do minério para, então, iniciar-se o projeto Mecânico. Na Siderurgia tem-se (laminação ou aciaria). Os projetistas precisam, então, trabalhar com toda a rota de processo metalúrgico. Essas predefinições dão condições de se definir, especificar e dimensionar os equipamentos da Mecânica.

Quando o escopo do Projeto Conceitual é da projetista (grupo pesquisado); monta-se este fluxo de processo; definem-se e dimensionam-se os equipamentos; e em seguida buscam-se, no mercado, possíveis fornecedores de equipamentos que serão necessários à planta industrial. Os catálogos dos fornecedores deverão atender ao pré-dimensionamento executado pelo grupo. Na mineração buscam-se fornecedores de peneiras; de britadores, etc. Na Siderurgia, da mesma forma; buscam-se equipamentos de referência que permitam a modelagem a partir da fase de projeto básico. A partir dessas definições, inicia-se o modelo no *software* de modelagem (Inventor).

Segundo os entrevistados, no conceitual, as informações para modelagem são preliminares. Não existe ainda o modelo. Se o grupo inicia esta fase, podem haver alterações ao longo das outras fases da Engenharia. A partir daí vão se refinando as informações. Ao final do básico busca-se obter a definição final dos equipamentos, fato que proporcionará uma modelagem mais precisa no projeto detalhado.

No conceitual se pode ter representação geométrica dos equipamentos. Os softwares utilizados são o Inventor (modelo conceitual), o Revit ou o PDMS (para estudo de alocação dos equipamentos). Essas informações, segundo os entrevistados são, contudo, preliminares. Esta fase é utilizada para se conceber a ideia da planta.

Quanto aos formatos de troca de arquivos entre as ferramentas, o Inventor “conversa” nativamente com o Revit e com o Navisworks. Esse último lê os dados do Inventor na linguagem IPT/IAM – ambos da família Autodesk.

Segundo informações do líder da disciplina MM e do consultor técnico da empresa “B”, na fase de projeto Conceitual desta disciplina, normalmente não se tem nada no formato 3D. Tratam-se apenas de documentos bidimensionais; esquemáticos. Em um projeto de uma planta de mineração, por exemplo, fase faz-se necessário a compilação do processo de mineração que seria esquematicamente como se segue: mina → logística da mina → formação de pilha de minério → lançamento do minério nos britadores → lançamento nas peneiras → voltar para o britador → ir para o moinho de bolas → depois concentração → e, produto final. O produto disso é um um esquemático 2D, não um modelo 3D.

De acordo com os entrevistados para a disciplina em questão, na fase conceitual, trata-se do processo como deveria funcionar na teoria: “*é um equipamento, que liga no outro, etc*”. Essas ligações entre equipamentos são feitas por meio de linhas, mas, linhas inteligentes. Trata-se, basicamente, na maioria das vezes, de uma especificação técnica.

Os entrevistados informaram que, no grupo pesquisado, o projeto conceitual é utilizado, principalmente, para estudo de viabilidade. É viável montar essa planta, neste lugar, deste jeito? Se for viável parte-se para o básico. O Conceitual tem mais inteligência de processo do que planta em si; construída. Esta concepção pode vir do cliente do da Engenharia (empresas de projeto do grupo pesquisado), mas segundo eles, normalmente, o negócio do cliente é produzir/entregar seu produto final (minério, petróleo, carros, por exemplo). Quem tem o *know-how* de qual melhor processo para se extrair ferro/potássio, etc. é o corpo técnico de Engenharia. Algumas empresas (clientes) têm esse conhecimento como diferencial competitivo de mercado, outros compram esse *know-how* de empresas de projeto, no Brasil ou no exterior.

Na fase conceitual por intermédio de reuniões de *design review* a compatibilização 3D da planta industrial é feita com os diversos fornecedores de equipamento.

Na fase de projeto básico se inicia a distribuição do processo da planta no espaço. Começa-se a ter a percepção da planta industrial. A ideia, segundo os entrevistados, é que, ao final do projeto básico os equipamentos que serão instalados na planta industrial estejam definidos. Esse fato, segundo eles, proporcionará uma modelagem mais precisa. É na fase do Projeto Básico que a modelagem tridimensional simples e 3D parametrizado se iniciam.

O modelo 3D dos equipamentos, quando não vem pronto do fornecedor, é desenvolvido pelo grupo com auxílio do Inventor, que deverá conter toda a modelagem paramétrica da disciplina, antes do envio para o NavisWorks para compatibilização e disponibilização do modelo 3D com as demais disciplinas. Como supracitado, a alocação destes equipamentos no espaço é realizada por intermédio da ferramenta PDMS.

A Figura 44 ilustra a alocação de um equipamento mecânico utilizando-se o *software* PDMS. À esquerda da figura, pode-se ver a "árvore" de dados referente ao conteúdo de equipamentos contidos no modelo.

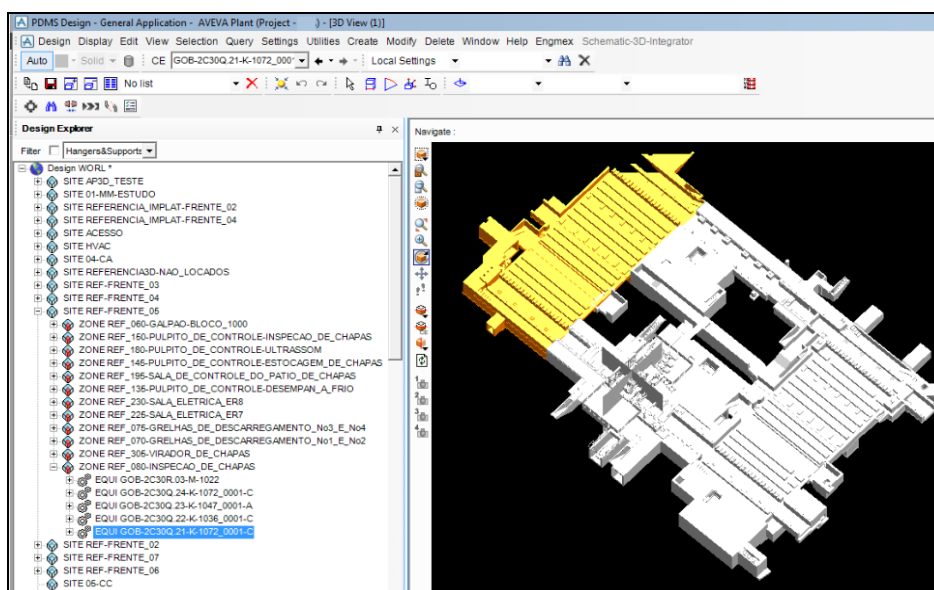


Figura 44 – Alocação de Equipamento Mecânico via PDMS - tanque armazenamento de óleo para laminador de aços em geral

Fonte: adaptado do arquivo técnico do grupo pesquisado

Na fase de Projeto Básico, informações referentes a equipamentos mecânicos e redes hidráulicas são trocadas entre as disciplinas de Mecânica (MM) e de Tubulações (HT), respectivamente. A Figura 45 ilustra essa integração interdisciplinar por meio da ferramenta PDMS da Aveva, utilizada por ambas as disciplinas nesta fase de projeto.

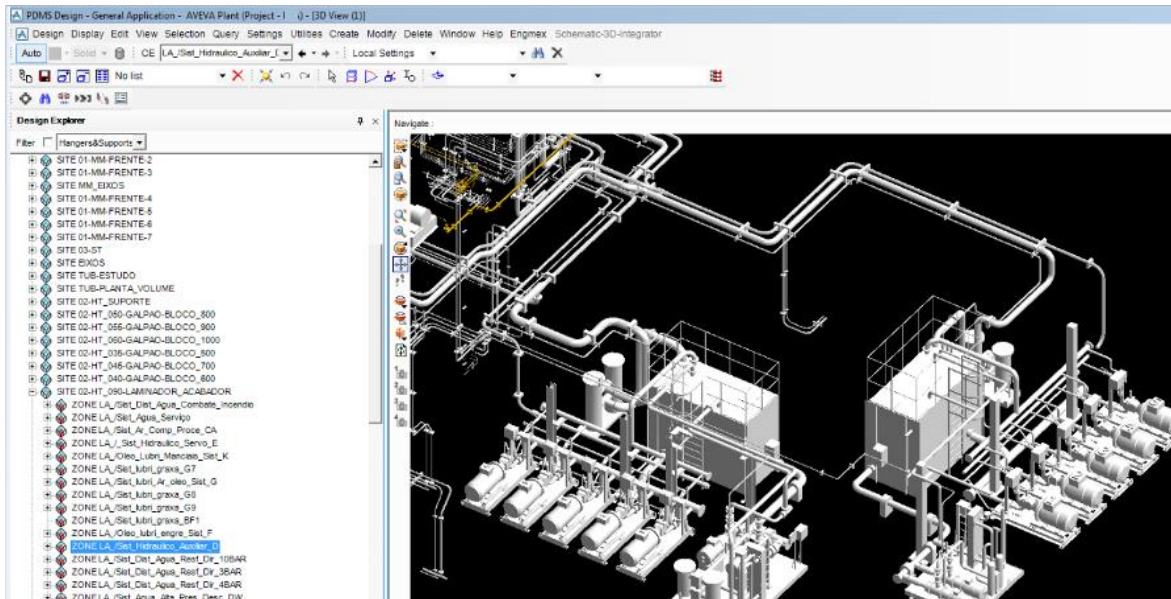


Figura 45 – Integração Modelo 3D das disciplinas de Mecânica e Tubulações via PDMS

Fonte: Adaptado de acervo técnico das empresas pesquisadas

O projeto detalhado da mecânica é compilado em duas ferramentas. O Revit para arranjo espacial dos equipamentos e Inventor, da mesma família, para detalhe individual de equipamentos.

A Figura 46 ilustra um modelo de equipamento mecânico, para a fase de acabamento de laminação de chapas de aço, no momento em que está sendo elaborado ou desenvolvido por meio do *software* Inventor, da Autodesk. Trata-se de detalhe individual de equipamentos.

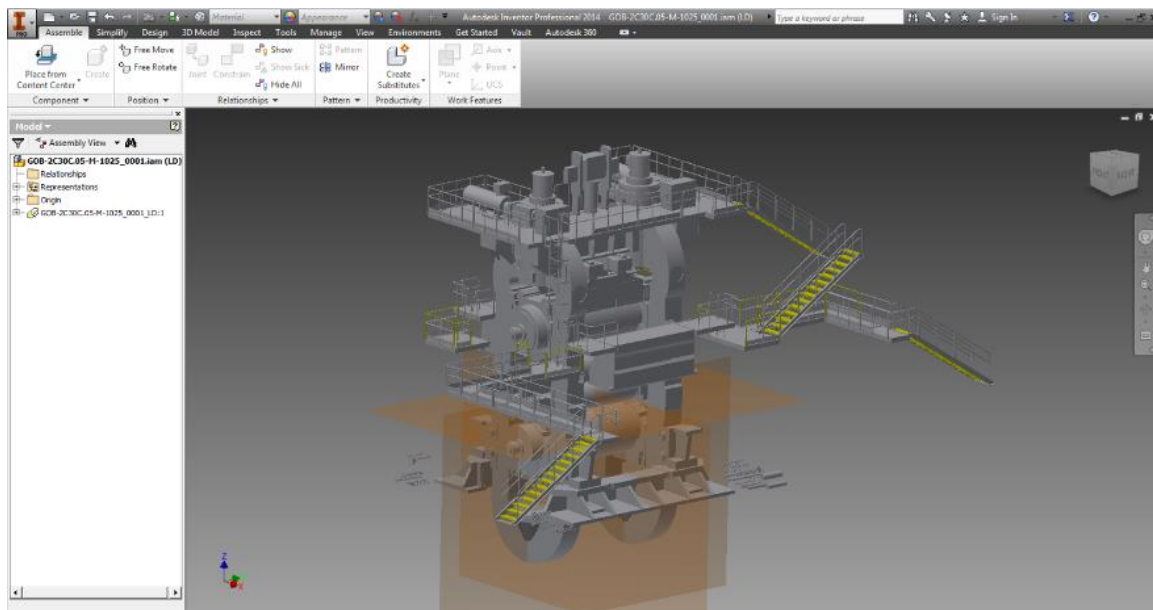


Figura 46 – Tela de Modelagem do software Inventor – Detalhe individual de Equipamento Mecânico (Laminador Chapas de Aço) elaborado no formato IAM

Fonte: Arquivo grupo pesquisado

O detalhe da mecânica (modelo parametrizado) não é, portanto, enviado ao modelo único do Navisworks. O que vai para o modelo de visualização e verificações é apenas o seu resumo. Ambos os *softwares* enviam informações nativas ao Navisworks, pois todos são da mesma família Autodesk. O Revit pela linguagem RVT e o Inventor nos formatos IPT e IAM.

No grupo pesquisado, durante as entrevistas, um dos projetos em andamento se referia ao modelo de uma linha completa de laminação de chapas grossas de uma companhia Siderúrgica. O produto final desta indústria poderá ser enviado à indústria naval e à indústria da construção civil, dentre outros mercados. Este caso é um exemplo onde o grupo pesquisado inicia o processo de projeto mecânico na fase do projeto detalhado. Isso implica que, em termos de procedimento, as fases conceitual e básico haviam sido definidas pelo cliente e que todos os equipamentos haviam sido definidos pelo fornecedor da linha. Em casos como esse, a fase de projeto detalhado é desenvolvida sobre uma informação definida, quanto se têm as referências completas para modelagem.

Análises de flexibilidade e stress dos equipamentos são realizados na fase de simulações. A MM ainda pode fazer simulações no Inventor por MEF – Método dos Elementos Finitos: Análise Dinâmica (que é o fluxo da planta) e Análise estrutural.

Na gestão do modelo único o projeto mecânico é compilado na ferramenta Navisworks para disponibilização para as outras disciplinas. Esse modelo da disciplina irá - como acontece nas demais disciplinas - formar o arquivo Navis geral, que será fornecido ao cliente. Nesta fase o Navis recebe arquivos nativos do Revit (.NWD), do Inventor (.IPT/.IAM) e do AutoCAD (DWG/NWD), referente a informações de arranjo espacial, detalhes e arranjos de equipamentos, respectivamente. O modelo único do Navis é, no entanto, não parametrizado.

Na Figura 47 tem-se uma vista panorâmica de um projeto industrial modelado parametricamente por softwares de diferentes disciplinas e compilado no Navisworks.

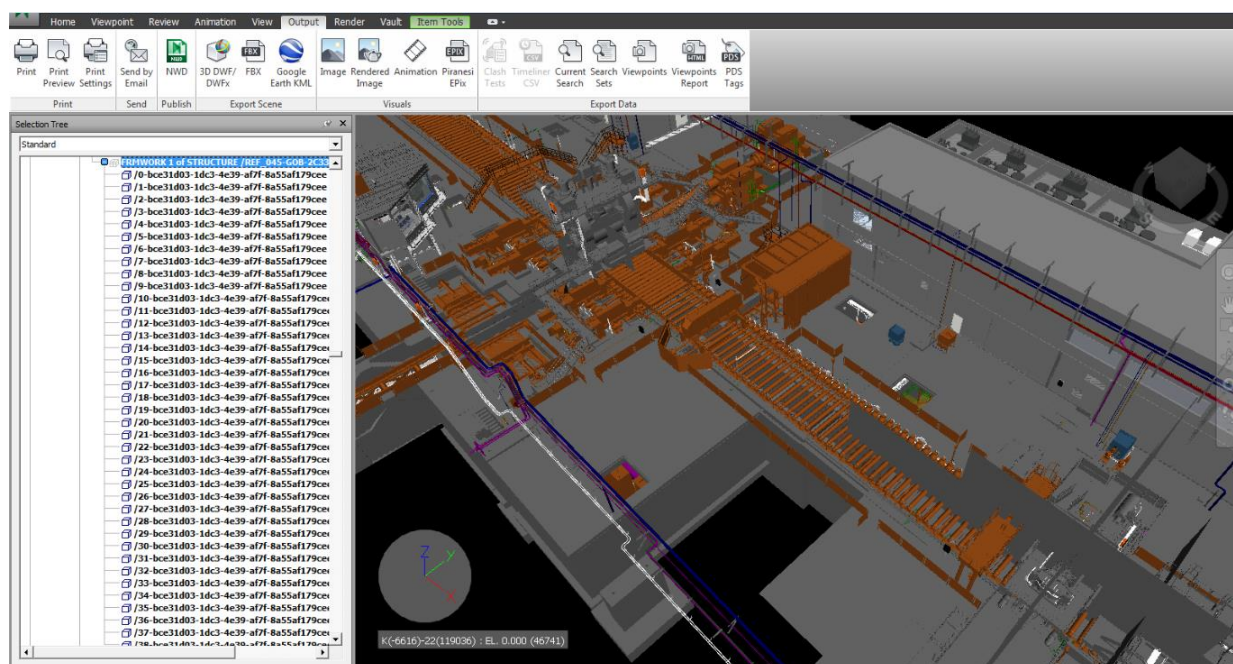


Figura 47 – Vista panorâmica de modelo de instalações industriais modeladas nos softwares Inventor e Revit e integradas via Navisworks

Fonte: acervo técnico grupo pesquisado

De acordo com o líder da disciplina Mecânica, em relação a especificações de materiais, ainda não existe, para a disciplina MM, um banco de materiais cadastrado no MEX (ferramenta desenvolvida pelo grupo), como têm as disciplinas de Elétrica Industrial (EI) e Tubulações (HT), por exemplo. A especificação de materiais, de acordo com o entrevistado, é inserida manualmente a partir da extração do modelo 3D, que é desenvolvido com auxílio da ferramenta Inventor (Autodesk) - *software* principal de modelagem da disciplina. O MEX apenas contribui às ferramentas da Mecânica com referências de materiais.

Para utilização em projetos futuros, a ferramenta MEX recebe, nesta fase, *inputs* da disciplina como planilhas em Excel, apresentações em Power Point e catálogos de materiais. Essas informações ficam armazenadas no banco de dados do MEX e poderão ser utilizadas em projetos futuros, atividades essas atribuídas, pelo grupo, à gestão do conhecimento.

De acordo com os entrevistados, internamente ao Inventor, há uma ferramenta que agrega várias informações de modelagem. O produto enviado ao Navis (integrador entre disciplinas) é um resumo dessas informações, um modelo não parametrizado, utilizado apenas para gestão de interferências e visualização.

Do modelo de projeto paramétrico (pelo Inventor) são extraídos os documentos 2D, 3D, vistas, etc. O grupo pesquisado não faz entrega dos detalhes de equipamentos desenvolvidos no

Inventor, pois ali existem informações que não são do grupo, mas sim específicas dos fornecedores de equipamentos.

Normalmente o cliente recebe o projeto em DWG 2D (Arranjo Geral). Se este tiver interesse, entrega-se, sob contrato, o Navis para visualização e auxílio na montagem dos equipamentos. Se o cliente fizer questão do detalhamento dos equipamentos em Inventor; ele precisa negociar esta demanda com o comercial do grupo pesquisado.

Também nesta fase são entregáveis as listas de materiais para compra, em formato XLS (MS Excel) – que são chamadas de folhas de dados. A planilha do Excel é composta de forma manual. Não há operações automáticas neste sentido.

3.7.3. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Tubulação (HT)

Para a Tubulação, uma das atividades mais importantes é o estudo do espaço para caminhamento das redes. Dessa forma, a gestão da modelagem pelo NavisWorks é imprescindível.

Como nas demais disciplinas, o modelo principal é desenvolvido por ferramenta específica e salvo no computador do projetista ou desenhista. Ao final de cada dia, os dados não paramétricos dos modelos 3D de cada disciplina são enviados ao NavisWorks, por meio de uma rotina automática criada pela empresa “B”, ou seja, não existe uma cultura de trabalho *online* ou em tempo real, compartilhado entre todos os agentes.

De acordo com o líder da disciplina quando a atualização dos modelos de cada disciplina não era diária, mas sim em tempo real, constantemente as alterações, por exemplo da estrutura metálica, causavam erros na modelagem da linha de tubulação. Um exemplo simples é quando um tubo era modelado para ser suportado por uma viga da estrutura metálica. Se, depois deste suporte, a metálica (ST) fizesse uma relocação da viga, no projeto, a tubulação tinha, automaticamente, uma perda de tempo por retrabalho, além de erros, muitas vezes irreversíveis, no *software*. Por esta questão, segundo o entrevistado, a atualização em uma vez por dia é preferível em relação àquela em tempo real.

Os entrevistados para esta disciplina foram: o líder da disciplina (Empresa “A”) e a equipe de suporte de automação de projeto (AP) - consultor técnico em AP e especificações de materiais, o líder da disciplina AP e o administrador 3D da disciplina.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina HT – Tubulação.

Na fase de projeto conceitual utilizam-se apenas ferramentas 2D, por exemplo o AutoCAD. As outras ferramentas utilizadas são também de modelagem bidimensional, mas para cálculo e dimensionamento das tubulações, como o Pipenet (cálculo de malhas de utilidades mais extensas, como, redes de gás, hidrantes, etc., com metodologia iterativa Hardy-Cross) e o Fluid Flow, com mesma função do Pipenet.

Nesta disciplina, as informações do projeto conceitual não são enviadas automaticamente para a fase de projeto básico, ou seja, não há ligações (comunicação) entre os softwares de uma fase e outra. O projetista, na fase de projeto básico, deverá executar, manualmente, a modelagem do encaminhamento das tubulações e das utilidades, definido na fase anterior. As ferramentas utilizadas para esta fase são o PDMS (Aveva), o Plant 3D (Autodesk) e o Smart 3D (Sisgraph). A troca de informações do Plant para o PDMS e para o Smart 3D é realizada com o suporte do tradutor MEX 3D, desenvolvido pela empresa “B”.

O Plant 3D, neste caso, é preferível, segundo os entrevistados, por questões financeiras. As licenças, segundo eles, dos softwares da Autodesk, possuem menor custo em relação às outras. Como o AutoCAD Plant 3D não é um software de modelagem paramétrica, as parametrizações são inseridas no PDMS, por exemplo, após receberem a modelagem do Plant 3D.

O projeto detalhado é uma evolução do básico, utilizando-se, exatamente, as mesmas ferramentas da fase anterior. Uma diferença, segundo o líder da disciplina, por exemplo, é que, no projeto detalhado os suportes e as ancoragens das tubulações e utilidades são especificados. Daí surge a necessidade de se fazerem os estudos de transientes e de esforços nas linhas de tubulação.

A Figura 48 ilustra uma galeria de tubulações de um empreendimento industrial modelada no *software* PDMS. O modelo, na figura, está integrado com outras disciplinas, como estruturas metálicas e em concreto armado.

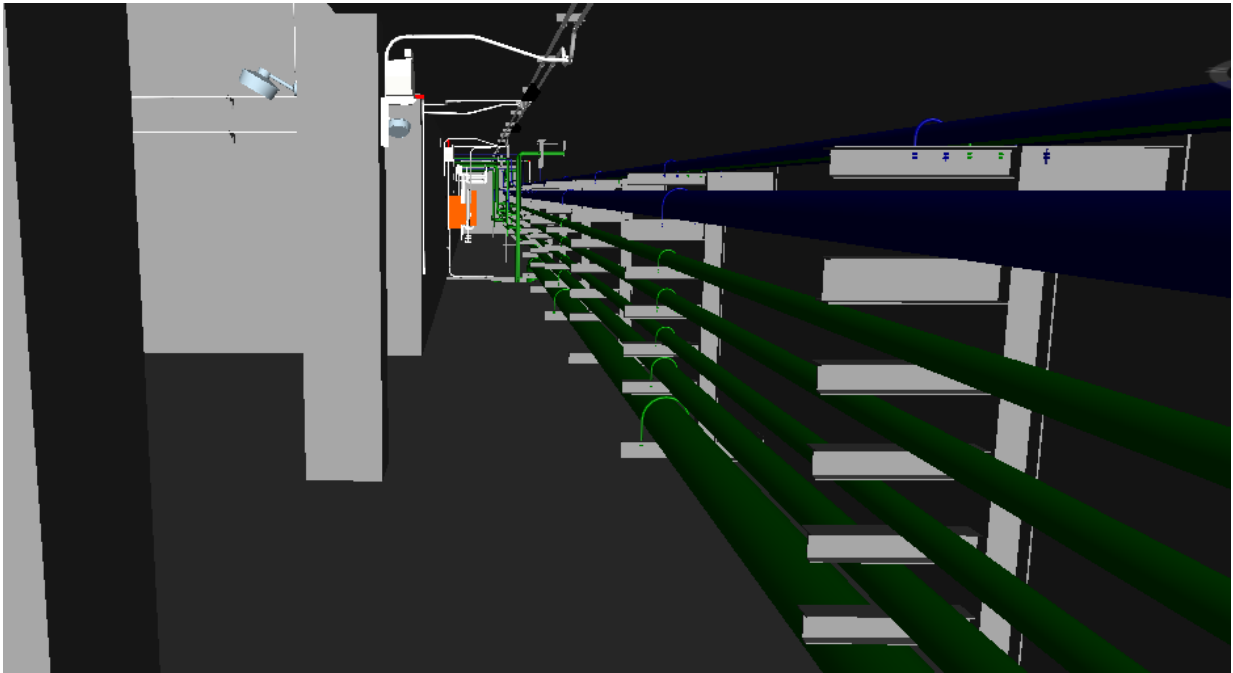


Figura 48 – Galeria de Tubulações (*Pipe-Rack*). Modelo PDMS

Fonte: Acervo técnico grupo pesquisado

Na fase de simulações são realizadas análises de flexibilidade da linha de tubulação como também estudos das necessidades de suporte e alteração de rotas de tubulações devido a cargas excessivas nos pontos de ancoragem, etc. Para os cálculos de flexibilidade são utilizados os softwares Ceaser e Triflex.

Esta disciplina também utiliza o NavisWorks para centralização do projeto e para verificação de interferências e disponibilização com as outras disciplinas. Os três softwares, citados na fase de projeto básico (PDMS, Plant 3D, e Smart 3D) enviam, diariamente, informações ao modelo centralizado na extensão NWD. Obviamente, estes modelos são integrados aos modelos das demais disciplinas.

A Figura 49 ilustra uma integração, via Navisworks, de modelos 3D de várias disciplinas. Nesta imagem os equipamentos (disciplina Mecânica) foram modelados no Inventor e alocados no PDMS. As redes hidráulicas (disciplina de Tubulações) foram modeladas no PDMS; o piso estrutural (Concreto Armado) foi calculado no Robot e as estruturas metálicas foram modeladas no Revit Structure e calculado no SAP2000.

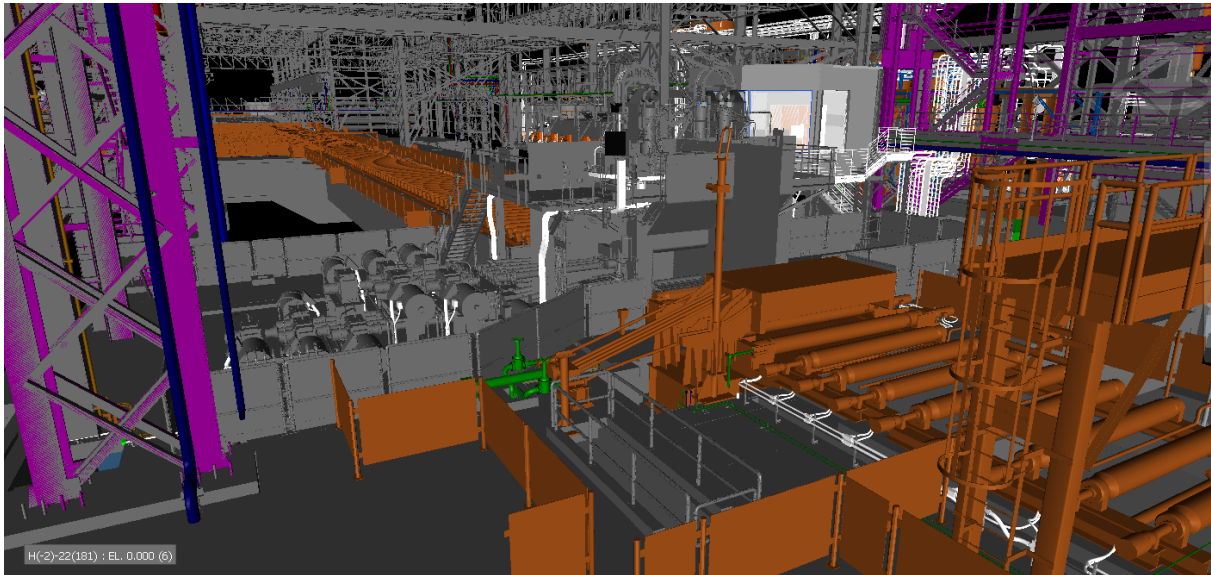


Figura 49 – Modelos interdisciplinares (Tubulações, Equipamentos Mecânicos, Estrutura Metálica e em Concreto Armado) integrados via Navisworks

Fonte: acervo do grupo pesquisado

Na fase de gestão de materiais, pelo software MEX – Material Explorer, desenvolvido pela Empresa “B”- uma gama de materiais paramétricos, 3D, não parametrizados é disponibilizada aos softwares de modelagem, com especificações alinhadas aos principais fornecedores de materiais.

A Figura 50 ilustra uma especificação de material (mangueira) disponível no website da empresa “B”, como também, no MEX, referente a redes de combate a incêndio, projeto, que também é desenvolvido pela disciplina de Tubulações (HT).

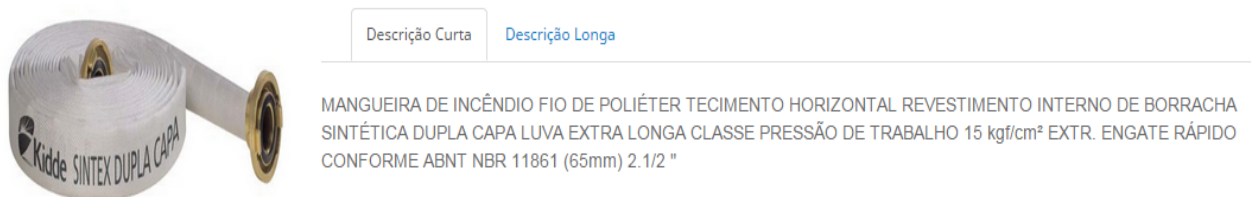


Figura 50 – Mangueira de Rede Anti-Incêndio com especificação "curta" de material, alinhada à rede de fornecedores

Fonte: adaptado do site da empresa “B” – Portal do MEX

Na fase de gestão do conhecimento, um banco de dados, em forma de árvore hierárquica, é mantido no MEX para projetos futuros, fato que também ocorre em diversas disciplinas de projeto do grupo pesquisado.

O projeto ainda é entregue ao cliente no formato DWG 2D, assim como uma lista de material em Excel. A documentação 3D (Review) do NavisWorks também pode ser disponibilizado para o cliente em casos contratados.

3.7.4. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Elétrica Industrial (EI)

O entrevistado para esta disciplina foi o engenheiro eletricista, líder da disciplina na Empresa “A”. Segundo ele, a não ser que o cliente solicite, a modelagem do projeto elétrico é, sempre, desenvolvida no Revit, que, segundo o engenheiro é mais amigável, além de ser o *software* mais utilizado pelas outras disciplinas, o que facilita a colaboração entre os agentes.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina EI – Elétrica Industrial.

Na fase conceitual da disciplina de Elétrica Industrial, utiliza-se apenas a ferramenta AutoCAD 2D. O projeto elétrico, nesta fase, limita-se a diagramas unifilares, arranjos e lista de cargas conceituais, memoriais descritivos, etc. Não se utiliza, por enquanto, modelagem 3D nesta etapa. Normalmente, no conceitual, ainda não se têm dados da planta industrial ou "desenhos", pois as disciplina de Processo e Mecânica ainda estão desenvolvendo o processo da planta.

De acordo com o entrevistado na fase de projeto básico utiliza-se o Revit quando todas as disciplinas estão desenvolvendo essa fase no 3D. Caso contrário, a ferramenta de modelagem utilizada nesta fase ainda é o AutoCAD. A Elétrica é muito dependente da Engenharia Civil e da Mecânica, de acordo com o engenheiro entrevistado. São essas disciplinas que distribuem as necessidades de cargas e suas localizações na planta industrial; especialmente Mecânica. Se essas equipes não estiverem modelando tridimensionalmente, dificilmente a EI desenvolverá uma modelagem desse tipo.

Podem ocorrer, também, casos em que o grupo pesquisado fornece ao cliente, na fase de projeto básico, um AutoCAD 2D (DWG) com detalhes típicos da disciplina Elétrica.

Para desenvolvimento (modelagem) do projeto detalhado a disciplina EI utiliza sempre o Revit, que faz uma integração com o Navisworks (Modelo Único) por meio do formato RVT. O entrevistado intitula o modelo do Navisworks de "maquete eletrônica".

Em casos em que o cliente solicita pode-se, também, utilizar a ferramenta Smart Plant 3D, para elaboração do Projeto Elétrico Detalhado.

O entrevistado afirma que possui dificuldades de navegar a planta industrial utilizando-se o Navisworks. Segundo ele o Revit é mais amigável para esta tarefa, apesar de saber que o Navis é desenvolvido para este fim. Não se fazem simulações no projeto elétrico.

Para gestão do modelo único a disciplina EI é integrada às demais por meio da ferramenta Navisworks, que recebe informações de modelagem da família Revit e do SmartPlant 3D (ambos no formato .NWD). A imagem da Figura 51 ilustra um modelo multidisciplinar de um edifício industrial. Salienta-se que toda a modelagem da alimentação elétrica da "ponte rolante" (ao fundo da imagem) é desenvolvida pelo software SmartPlant 3D (Intergraph). O modelo da edificação foi elaborada no Revit Structure e dimensionada no SAP2000. Os equipamentos mecânicos foram modelados no Inventor e alocados no PDMS. A imagem, por sua vez, foi gerada no Navisworks.

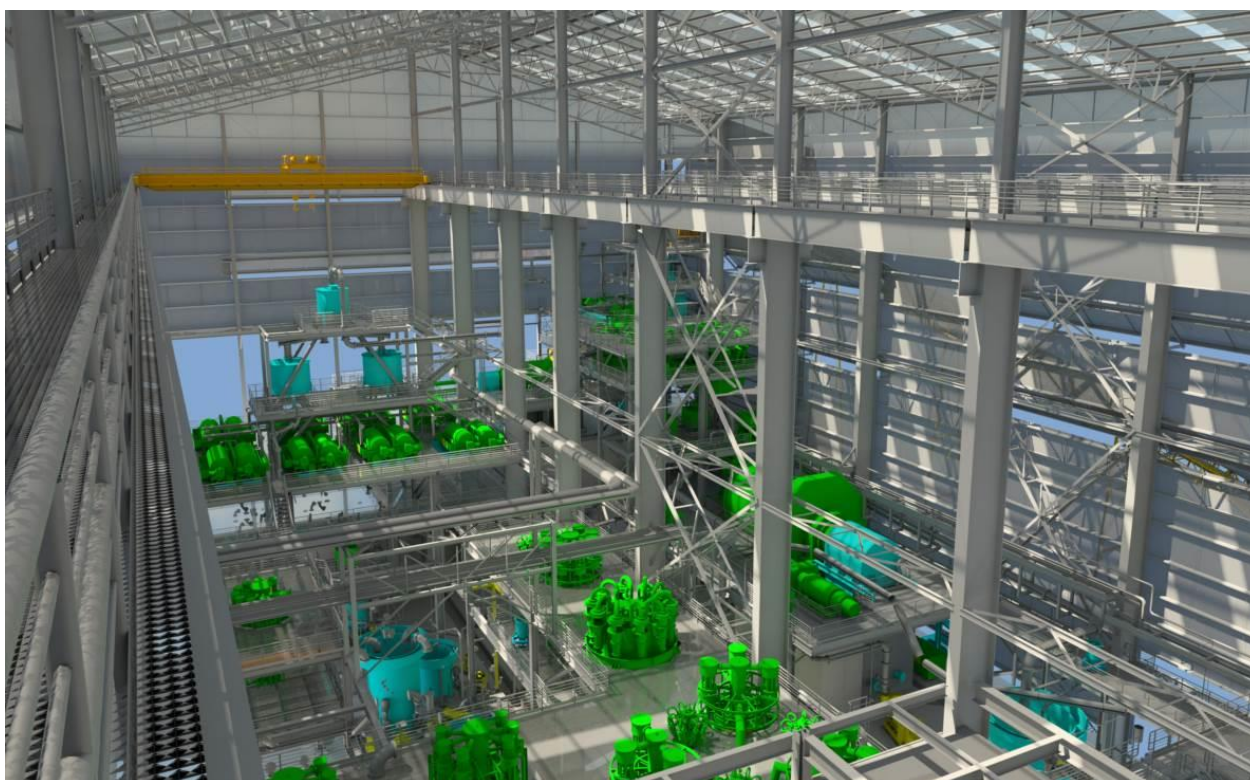


Figura 51 – Modelo Multidisciplinar de Edifício Industrial. Sistema Elétrico elaborado por meio do SmartPlant 3D

Fonte: imagem cedida pelo grupo pesquisado

A gestão dos materiais paramétricos também é feita pelo MEX, por meio do qual enviam-se as famílias de objetos paramétricos referentes aos materiais utilizados nesta disciplina. Este envio, normalmente, para o Revit, é realizado na linguagem XLS ou RSV. O Smart Plant 3D pode receber informações do MEX no formato TXT.

Como na maioria das disciplinas, nesta fase, na disciplina EI, o MEX também recebe informações dos *softwares* de modelagem para geração da lista de materiais para compra. Do Revit essas informações vêm em XLSX.

A Figura 52 ilustra a descrição completa de uma luminária de embutir, decorativa, para utilização em iluminação de sistemas prediais, disponível no website do MEX – Material Explorer.

O mesmo descritivo, com informações adicionais parametrizadas, para modelagem 3D (BIM ou industrial) pode ser encontrado na ferramenta profissional, o MEX, *software* desenvolvido pela Empresa “B”; de padrão proprietário.

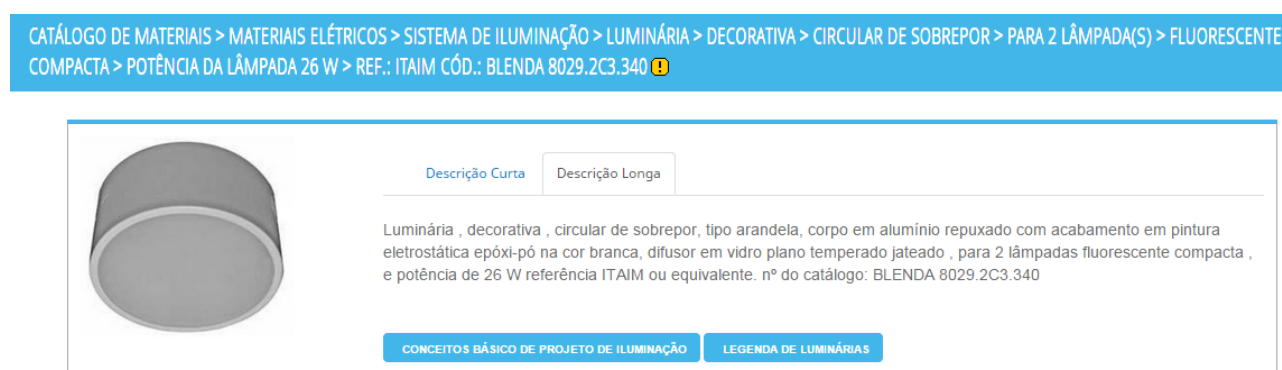


Figura 52 – Descritivo completo de uma luminária de embutir (em alumínio) para sistema de iluminação predial

Fonte: adaptado do MEX versão internet

Documentos e especificações-padrão são armazenados no MEX para utilização em projetos futuros, tarefa essa direcionada à gestão do conhecimento.

Os documentos entregáveis ao cliente são DWG 2D (projeto); Excel (lista para compra) e modelo unificado (Navisworks).

3.7.5. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Civil Arquitetura (CA)

A disciplina de Arquitetura utiliza, no processo de projeto, basicamente 4 softwares. O Revit Architecture (da Autodesk) é utilizado para modelagem nas fases Conceitual, Básico e Detalhado. Quanto à composição do modelo único, essas informações são exportadas à ferramenta, também da Autodesk, Navisworks, na linguagem nativa, proprietária (.RVT). Do projeto detalhado são geradas listas de materiais para planilhas em Excel (Microsoft) no formato

XLS. Quando o cliente solicita, a partir do Revit são geradas plantas 2D, exportadas no formato DWG para o AutoCAD (também da Autodesk) ou documentos em DWF.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina CA – Arquitetura.

Na fase de projeto conceitual, a Disciplina de Arquitetura do Grupo pesquisado desenvolve todos os estudos de volumetria, *layouts*, etc. e pode-se fazer extração automática de documentação 2D como plantas, cortes, fachadas, listas de materiais, etc. O *software* utilizado nesta fase é o Revit (Autodesk). Em casos onde o arranjo mecânico está pré-definido pelos fornecedores de equipamentos ou pela equipe da Mecânica, a disciplina de Arquitetura trabalha, nesta fase, com links, ou seja, ligações entre equipamentos ou *layout* geral da Mecânica, e, ainda modela alvenarias, tapamentos, portas, etc. Se, por exemplo, for a uma sala elétrica, a Arquitetura desenvolve todo o arranjo elétrico.

Há, no entanto, casos, em que todo o projeto Arquitetônico é desenvolvido pelo grupo pesquisado. Nesses casos a Arquitetura interna (CA) desenvolve o projeto por completo, a partir do Projeto Conceitual. O cliente repassa apenas informações básicas, a partir das quais o projeto arquitetônico é elaborado.

Segundo a arquiteta entrevistada, nesta etapa “o projeto arquitetônico não está preso a detalhes”. Aqui o projeto nasce em 3D, parametrizado, mas pode sofrer alterações em função de mudanças em função das outras disciplinas de projeto. A entrega, nesta fase, ao cliente, fica limitada a estudos de volumetria.

O Projeto conceitual é transformado em Projeto Básico, também utilizando-se o Revit. Algumas cotas básicas são definidas. Para a arquiteta entrevistada, o que muda do conceitual para o básico é o nível de detalhes. Na fase de Projeto Básico são definidas as cotas básicas e quantitativos de materiais (lista); e, são entregues ao cliente maiores detalhes dos cortes e fachadas, lista de materiais para compras, etc.

O projeto detalhado na disciplina Arquitetura, também é desenvolvido na ferramenta Revit. Nesta fase tem-se o modelo completo, compartilhado, também no NavisWorks (Review) para outras disciplinas em formato 3D não parametrizado.

A imagem da Figura 53 ilustra uma sala elétrica de projeto industrial, desenvolvido pelo grupo pesquisado, modelada no Revit Architecture e renderizada na ferramenta Navisworks, ambas da Autodesk. As estruturas em concreto armado e em aço foram dimensionadas nos softwares Robot e SAP2000 pelas disciplinas de referência.



Figura 53 – Sala Elétrica industrial modelada no Revit Architecture e dimensionada pelos softwares Robot e SAP 2000. Imagem Fotorrealística criada na ferramenta *Rendering* do Navisworks

Fonte: Arquivo técnico grupo pesquisado

A disciplina CA (Civil Arquitetura) não realiza simulações por meio de seu modelo 3D. A arquiteta entrevistada declarou, contudo, conhecer esta possibilidade por meio da ferramenta Revit (da Autodesk).

Para gestão do modelo integrado, como nas outras disciplinas, o modelo da Arquitetura é gerenciado no NavisWorks.

Normalmente as especificações dos materiais utilizados pela Arquitetura, bem como as famílias de objetos paramétricos que os representam, são criadas pela Empresa “B” pela ferramenta MEX e exportada ao Revit nas fases do projeto conceitual, básico e detalhado. As famílias de materiais podem englobar portas, janelas, louças, metais, etc. Existem duas linguagens nas quais o MEX envia informações para o Revit: XLS e RSV. A primeira linguagem é utilizada para envio dos quantitativos de materiais, listas, etc. A segunda (.RSV) é a linguagem utilizada para envio das famílias de objetos parametrizados, que são criadas no MEX (Material Explorer) e enviadas ao Revit.

De acordo com a arquiteta entrevistada, a falta de disponibilidade, no Revit (principal ferramenta de modelagem da Arquitetura no grupo), de objetos ou famílias de objetos paramétricos necessários à elaboração do modelo arquitetônico é bastante recorrente. Nesses casos a disciplina faz uma “Abertura de Chamado”, em rede, para solicitação desses objetos à Empresa “B”, por meio do gerenciador – o portal Spiceworks. Aqui, um procedimento padrão é utilizado pelo grupo pesquisado: antes de atender ao pedido da disciplina, o gerente do projeto e o líder da disciplina verificam se realmente o projetista necessita daquela solicitação, pois, a utilização errônea, no modelo, de um material que não esteja presente no projeto gerará, automaticamente, um erro no canteiro de obras. Caso a necessidade se confirme, a empresa “B” procura atender às solicitações da disciplina, dentro do escopo e do prazo estipulado pela equipe no início do projeto. As famílias de objetos paramétricos, com suas SPEC’s (especificação de materiais) são, então, enviadas à disciplina solicitante.

A Figura 54 mostra um objeto paramétrico - para representação de uma união soldável - referente a sistemas hidráulicos prediais; para água fria; criado na ferramenta MEX e que pode ser exportado ao Revit no formato [.RSV]. A imagem mostra a árvore hierárquica do cadastro dos materiais no banco de dados do MEX, assim como uma foto ilustrativa, descrições detalhada e curta do material, bem como referências do fornecedor, junto ao qual essas informações são atualizadas frequentemente pelas empresas “A” e “B”.

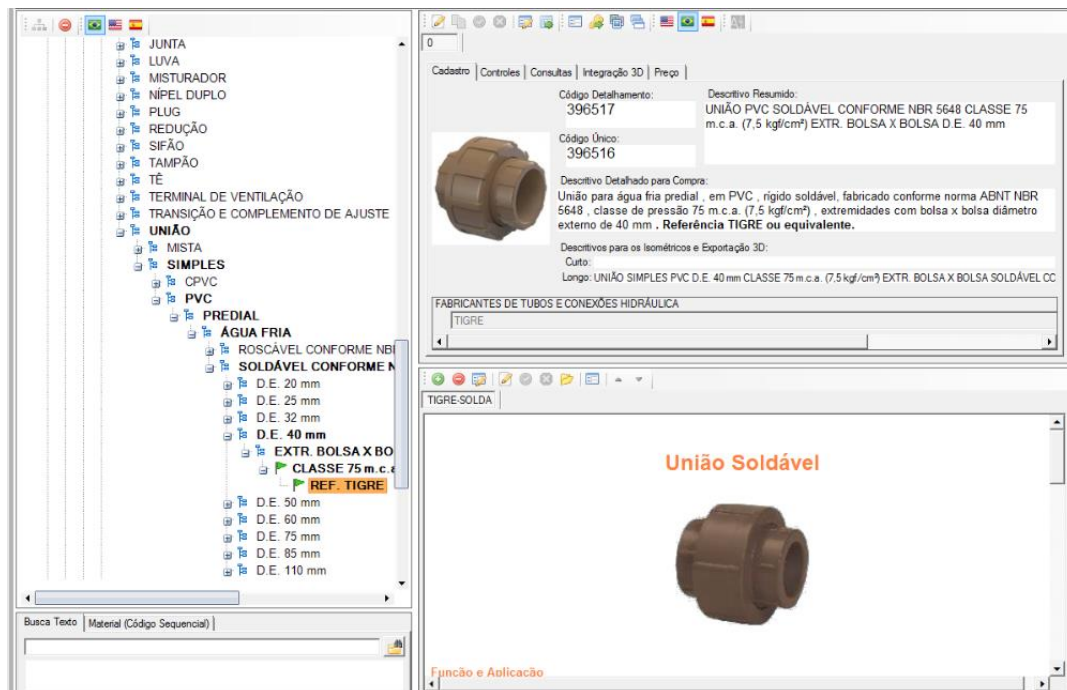


Figura 54 – Especificação de União Soldável para Água Fria para Sistema Hidráulico Predial. Material Paramétrico Criado no MEX.

Fonte: Adaptado de Arquivo Técnico grupo pesquisado

Segundo a arquiteta entrevistada, os materiais paramétricos utilizados pela disciplina CA (Arquitetura) são muito específicos e praticamente não se utiliza as famílias de objetos paramétricos utilizados em projetos anteriores. “*Esse fato gera uma biblioteca imensa de materiais paramétricos*”, segundo a entrevistada. Isso gera um pouco mais de trabalho à Empresa “B”, que precisa, constantemente, criar novas famílias de objetos na gestão do conhecimento.

Na fase de entrega do projeto ao cliente emite-se o projeto arquitetônico, pelo Revit, nos formatos DWF e DWG 2D. Segundo a arquiteta entrevistada, existe um problema nesta fase de emissão do projeto ao cliente. A empresa “B” possui um padrão de desenho técnico quanto às penas e/ou *layers* para o produto final (projeto). A arquiteta afirma: “*A linha de uma parede cortada tem certa espessura; paredes em vistas têm outra, etc. O Revit entende parede como parede, exportando sempre uma mesma espessura de linhas para parede*”. Essa questão deixa claro que o grupo ainda não conseguiu configurar o Revit para fazer esta diferenciação. O grupo pesquisado contorna este problema editando-se o desenho manualmente, no AutoCAD, editando-se o DWG para adequação ao padrão de *layers* da Empresa “A”. Segundo a entrevistada, mesmo diante desse retrabalho, a modelagem no Revit ainda é satisfatória em relação ao AutoCAD 2D, em questão de tempo, detalhes e interoperabilidade - citada por ela como *links* com outras disciplinas. Em caso de necessidade de retorno do AutoCAD ao Revit todo o trabalho de edição precisa ser novamente realizado.

Salienta-se, portanto, aqui, que isso é uma questão de configuração. O Revit disponibiliza, em seu gerenciador, opções de alterações dos padrões destes *layers* ou espessuras de linhas. Algumas informações sobre esta questão foram repassadas ao grupo pesquisado que irá buscar formas de resolver ou mitigar o referido problema.

Outro documento entregue ao cliente final é o modelo integrado no NavisWorks, de acordo com a forma de contrato firmado entre as partes.

As listas de materiais para compra podem ser emitidas do Revit (modelo detalhado) ou da ferramenta MEX.

3.7.6. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Civil Estrutura Metálica (ST)

De acordo com o engenheiro entrevistado, em processos industriais, o projeto estrutural é uma atividade de suporte às outras. Por exemplo, a estrutura de um Pipe-rack é projetada para dar

suporte a uma rede de tubulações. Para o caso de equipamentos, o projeto estrutural é desenvolvido tendo-se como base os DF's – Desenhos de Fabricação - enviados pelos fornecedores desses equipamentos. Esses desenhos são orientativos ao projeto estrutural quanto a apoios, locação, cargas solicitantes, etc.

Galpões metálicos podem ser construídos para diferentes fins; assim como uma estrutura de peneiramento de minério. Segundo o entrevistado, em casos de Mineração, têm-se os prédios de peneiramento. As peneiras (em vários níveis) normalmente são suportadas por estruturas metálicas. Esse é um tipo bastante corriqueiro em projetos em Estruturas em aço. Todas as referências de peso e apoio das peneiras são repassadas ao projetista de Estruturas Metálicas.

As entrevistas para esta disciplinas foram realizadas com um engenheiro civil calculista de estruturas metálicas (empresa "C"), o consultor técnico em materiais e o líder da disciplina de automação de projetos da empresa "B".

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina ST – Estruturas Metálicas.

De acordo com o engenheiro calculista entrevistado, normalmente não se trabalha, na fase conceitual de projeto, em estrutura metálica. Os trabalhos que se fazem, nesta etapa, normalmente, são estimativas de materiais - peso de aço por área construída (kg/m^2). Raramente se utilizam *softwares* para isso. Pode-se, em algum caso, fazer uso de um "croqui" para esta fase, utilizando-se o AutoCAD 2D para representações superficiais do edifício, caso o cliente solicite.

Na fase do Projeto Básico inicia-se a modelagem do projeto em estruturas metálicas. Para a modelagem utiliza-se o Revit ou o SAP 2000. De acordo com o engenheiro civil calculista (estruturas metálicas) o SAP pode ser utilizado tanto para modelagem quanto para cálculo e dimensionamento, mas que, o mais comum, é a modelagem ocorrer no Revit e as atividades de cálculo e dimensionamento no SAP.

A sequência de cálculo ocorre da seguinte forma: Na modelagem estima-se um perfil, por exemplo, (no Revit ou no próprio SAP). Em seguida aplicam-se as cargas solicitantes, no SAP, e verifica se o perfil atende. Este processo é iterativo, até que o perfil tenha capacidade resistente para suporte das cargas, tanto no estado limite último (E.L.U.) quanto no estado de serviço. Se, por exemplo, o *software* escolhido para modelagem estrutural, em um dado projeto, for o Revit, e ocorrer de um dado perfil pré-dimensionado não "passar" na verificação estrutural do SAP,

esse perfil é devolvido ao Revit pelo SAP. A troca de informações entre as duas ferramentas (SAP e Revit) normalmente é o SDNF. De acordo com Eastman *et al.* (2008) O SDNF é uma extensão de formato neutro para estruturas metálicas. Em casos de discrepâncias de referências de linhas entre o SAP e o Revit, fazem-se necessários ajustes manuais do modelo no Revit.

O *software* de detalhamento, mais utilizado pelo grupo, é o AutoCAD 2D. As informações para detalhamento podem ser enviadas, tanto do modelo do Revit quanto do SAP, ambas em DWG para o AutoCAD – ver o exemplo da Figura 55.

A sequência, então, do projeto estrutural é: modelagem no Revit ou SAP, cálculo e dimensionamento no SAP 2000 e detalhamento o AutoCAD 2D. A sessão “*review*” do modelo no Revit (compatibilizado com a verificação estrutural do SAP) é enviada, então, para o NavisWorks, para compatibilização do modelo com as outras disciplinas.

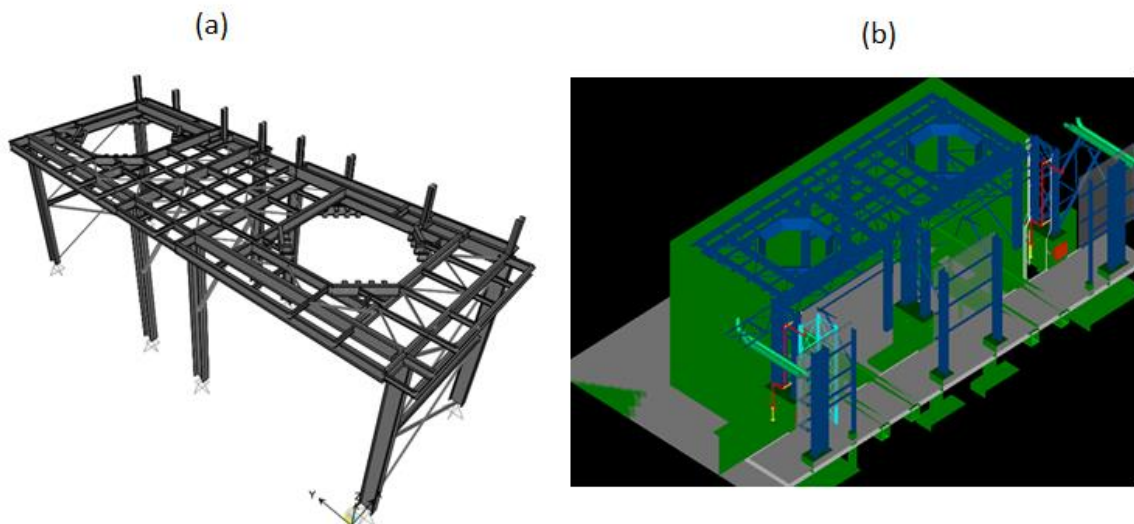


Figura 55 – Modelo 3D de Plataforma de Carregamento Funil (Siderurgia). Modelo elaborado e dimensionado no SAP2000 (a) e compatibilizado ao Revit Structure (b)

Fonte: arquivo técnico empresas pesquisadas

As simulações não passam de análises corriqueiras de verificação estrutural, como análise do efeito de ventos, flechas nas estruturas, deslocamentos de nós, etc. Essas simulações são realizadas, também, por intermédio do SAP 2000. Não há, nenhuma simulação de todo o modelo da planta industrial.

O modelo único é compilado no *Review* do Navisworks, vindo do Revit (no formato NWD). Como acontece nas outras disciplinas, na estrutura metálica o modelo para visualização do NavisWorks é gerado de duas formas: um modelo somente da disciplina, que é atualizado

diariamente por rotina automática e um modelo geral, composto por todas as disciplinas, compilado ao final da elaboração do projeto. As atualizações para o modelo Navis da disciplina são feitas em rotina diária e automática, sob gestão da Empresa “B”.

Para gestão de materiais, quando necessário, a biblioteca de objetos paramétricos do Revit é alimentada pelo MEX. Os formatos de envio são .RSV e .XLS, para objetos e listas de materiais, respectivamente. Ao final da modelagem, pode-se enviar uma lista de material do Revit para o MEX, em formato XLS, para gestão de listas de materiais para compra; por disciplina e geral.

Alguns materiais dessa biblioteca estão também no portal da Empresa “B” (MEX para internet). A Figura 56 ilustra um perfil em aço estrutural, tipo “H”, de 10 polegadas (254mm), laminado a quente, disponível no MEX *online*, um portal público criado pela empresa “B” para divulgação da marca e disponibilização de alguns materiais ao mercado. Imagem e a descrição do material ficam disponíveis para o leitor. O cadastro ao site é gratuito a quaisquer interessados.

Vale salientar o banco de dados do MEX, na internet, carrega apenas informações de especificações de materiais, não sendo possível carregar, do website, entidades paramétricas para emprego em ferramentas BIM ou em ferramentas de modelagem paramétrica industrial.



Figura 56 – Especificação de um Perfil “H” 10” em Aço Estrutural Laminado - disponível na ferramenta MEX na internet.

Fonte: site do MEX online da Empresa “B”

A empresa “B” atua no sentido de gerenciar, a partir do MEX, informações de projetos anteriores para utilização no presente, ou do projeto em desenvolvimento para futuras. Essas informações podem ser perfis estruturais, fotos, vídeos, análises, apresentações, etc.

Os entregáveis ao cliente, na disciplina de Estrutura Metálica, são: projeto detalhado no CAD (formato DWG) e o modelo único no NavisWorks, caso o cliente tenha contratado. Uma lista de material pode ser também fornecida, em XLS, retirada do MEX – Material Explorer.

3.7.7. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Civil Concreto (CC)

A disciplina de projeto CC engloba projetos de Concreto Armado, Estruturas mistas em Aço e Concreto, Concreto Pré-fabricado e Protendido. São elaborados por esta equipe os projetos conceitual, básico e detalhado de estruturas de Pontes, Viadutos, infraestruturas de Estaleiros, obras de contenção, pisos industriais, etc. Como supracitado, o líder do projeto, os projetistas e os desenhistas desta disciplina pertencem à empresa "D". O gerente do projeto e o líder desta disciplina pertencem, portanto, à empresa "A".

No caso de plantas industriais as equipes de concreto armado elaboram projetos de pisos industriais, bases e fossos para instalação de equipamentos, muros de contenção, estruturas mistas, pilares, lajes steel deck, etc.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina CC – Concreto Armado e Protendido.

Na fase de projeto conceitual a disciplina CC utiliza, basicamente, o AutoCAD (da Autodesk) para elaboração de croquis; como suporte a estudos de volumetria – também realizados pela Arquitetura - e estudos de viabilidade.

Na elaboração do projeto básico inicia-se, na disciplina CC, a modelagem propriamente dita. O software principal de modelagem é o Revit (Autodesk). O modelo pode vir dos lançamentos da Arquitetura ou pode ser iniciado pela própria disciplina Civil Concreto. Contudo, esta interdisciplinaridade com a Arquitetura sempre ocorre, pois após o dimensionamento do concreto, o modelo da arquitetura precisa ser atualizado no *software* daquela disciplina, que também adota o Revit como “modelador” principal. O modelo unificar também é elaborado nesta fase, no SAP 2000. As trocas de dados (idas e vindas) entre o SAP e o Revit ocorrem, também, no formato neutro SDNF.

O modelo do projeto detalhado (desenvolvido no Revit) recebe contribuição dos *softwares* de cálculo e dimensionamento, a saber, o SAP 2000 e o Robot. O formato de troca de arquivos entre o Revit e o SAP, como citado acima, é o SDNF. A comunicação entre o Revit e o Robot ocorre de forma nativa (padrão proprietário) por serem ambos da Autodesk.

O detalhamento é sempre desenvolvido no AutoCAD, onde são desenvolvidas as fôrmas e armações. A lista de material, em DWG, é enviada ao cliente para aquisição de materiais.

As análises e simulações de cálculo e dimensionamento são suportadas pelas ferramentas SAP 2000 e Robot.

O modelo gerado pelo Revit é enviado ao NavisWorks da disciplina pelo formato .RVT para compilação do modelo único da disciplina. O Navis da disciplina é atualizado diariamente para o modelo do Navis geral no formato .NWD.

A Figura 57 ilustra uma casa de bombas de um empreendimento industrial. As vigas e os pilares em concreto armado foram modelados na família Revit (Architecture e Structure) e dimensionadas no software Robot de forma interoperável. O modelo das duas disciplinas (Arquitetura e Concreto Armado) foi integrado às demais disciplinas com a utilização da ferramenta de gestão Navisworks, da Autodesk. As tubulações e os equipamentos mecânicos foram modelados nas ferramentas PDMS e Inventor, respectivamente.

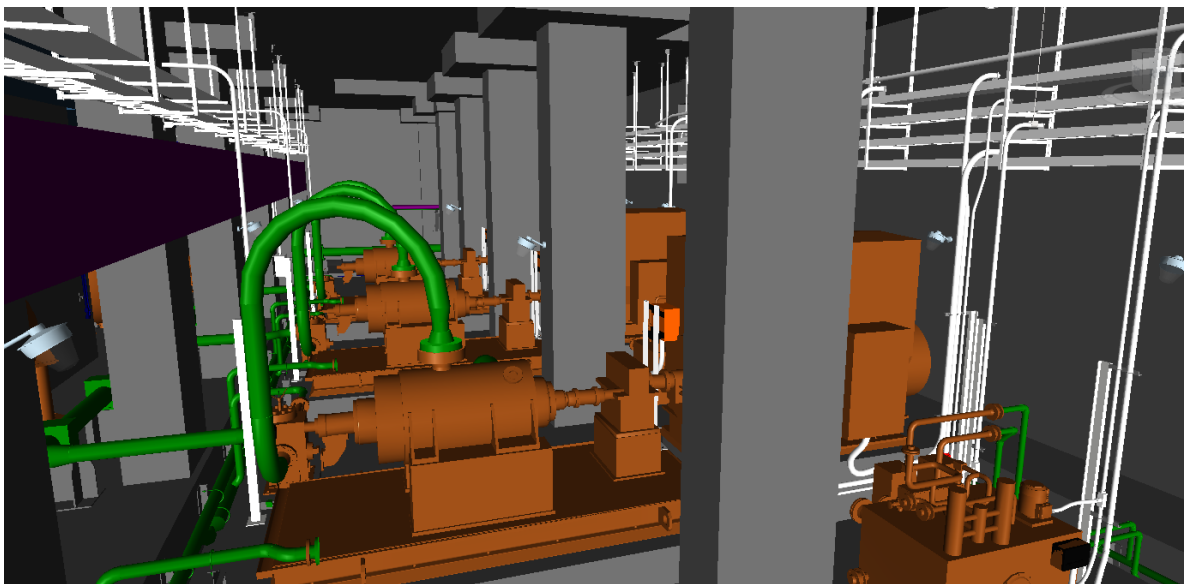


Figura 57 – Casa de Bombas - Projeto Industrial. Pilares e Vigas em concreto armado modeladas no Revit e Calculadas no Robot. Modelo compatibilizado no Navisworks mostrando as redes de tubulações e equipamentos mecânicos

Fonte: Arquivo empresas

Não se aplica, neste caso, a utilização do MEX para gestão de materiais. Neste caso o concreto é considerado pelas empresas como um serviço e não como um material. O controle do aço utilizado, no caso de concreto armado e protendido, é feito no modelo do Revit, de acordo com os cálculos, dimensionamento e detalhamento realizados por meio dos *softwares* SAP 2000, Robot e AutoCAD.

Para a gestão do conhecimento a ferramenta MEX recebe *inputs* da disciplina como planilhas em Excel, apresentações em Power Point e catálogos de materiais para utilização em projetos futuros.

Os entregáveis ao cliente são o projeto detalhado em AutoCAD (DWG 2D) - inclusive com lista de material - e o modelo geral em NavisWorks, para visualização do modelo como um todo, não somente da disciplina, mas de todo o projeto.

3.7.8. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Civil Hidrossanitário (CH)

Esta disciplina possui, no grupo pesquisado, uma sequência de projeto muito semelhante à da Arquitetura, sendo o projeto, em nível de concepção, básico e detalhado, desenvolvidos com auxílio do Revit; a visualização do modelo suportada pelo Navisworks e a gestão de materiais por meio do MEX.

A Figura 58 mostra o descritivo “curto” de uma válvula com diâmetro nominal de 4” (quatro polegadas). Este material, normalmente é utilizado em sistemas hidráulicos prediais. A informação pode ser obtida do site do MEX - com cadastro gratuito – uma versão *online* gratuita do MEX – Material Explorer - mantido pela Empresa “B” para divulgação do produto oficial e de seus serviços.



Figura 58 – Descrição curta de uma válvula em aço carbono; DN 4”; para utilização em sistemas prediais

Fonte: website do MEX

O mesmo descritivo pode ser obtido no MEX, ferramenta profissional. A diferença está no fato de que neste último o usuário terá em mãos informações paramétricas para modelagem BIM. Por sua vez, a versão *online* traz apenas descritivos de materiais para composição manual de listas de matérias, o que não é o ideal. Contudo, esse "catálogo" *online* vale-se como uma referência ou padronização de descritivos de materiais, uma vez que esta biblioteca, segundo o líder da

disciplina de Automação de Projetos, é rotineiramente atualizada junto aos fornecedores de materiais.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase de projeto, na disciplina CH – Hidrossanitário.

A ferramenta utilizada na fase conceitual do Projeto Hidrossanitário é o Revit, porém 2D, obviamente não parametrizado, o que não é uma característica do conceito BIM nem de modelagem paramétrica industrial.

No projeto básico inicia-se a modelagem baseada em objetos paramétricos da disciplina “Hidrossanitário / Drenagem de Cobertura”. A ferramenta de suporte é o Revit.

O projeto detalhado é compilado ao passo que se conclui o modelo do projeto Hidrossanitário. Com auxílio do Revit todas as informações paramétricas são inseridas no modelo. As famílias de objetos paramétricos podem ser recebidas do MEX, nas linguagens XLS e RSV. Não são realizadas simulações na disciplina Civil Hidrossanitário pelo grupo pesquisado.

Como acontece nas demais disciplinas, o modelo que integra toda a modelagem do projeto CH é o NavisWorks (modelo 3D não parametrizado). Informações de projeto são advindas do Revit (modelo detalhado) na linguagem .RVT para o software de visualização e verificação de interferências.

Para a gestão de materiais utilizam-se os softwares Revit - Autodesk - e o MEX (desenvolvido pela empresa “B”). Como supracitado, o MEX envia informações para o Revit nos formatos XLS e RSV; referentes a quantitativos de materiais, listas e envio das famílias de objetos parametrizados, respectivamente. Para compilação da lista de materiais no MEX, informações podem ser retornadas da ferramenta da Autodesk para o MEX no formato XLS.

A Figura 59 ilustra a descrição longa de um tubo em PVC, com diâmetro nominal (DN) e 4" – quatro polegadas), schedule 80 e padronizado pela norma ASTM. O material tem diversas aplicações, inclusive em projetos hidrossanitários prediais.

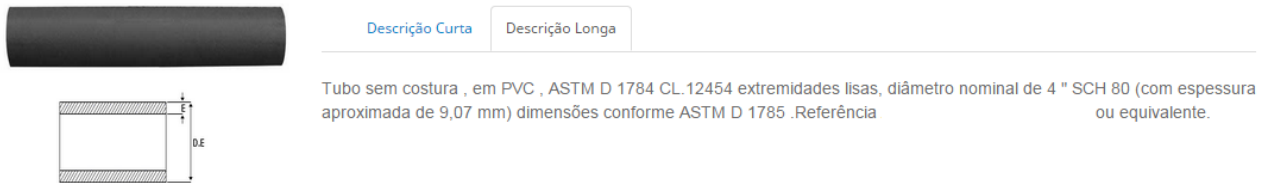


Figura 59 – Descrição Longa de Tubo em PVC 4" para utilização em sistemas hidrossanitários prediais

Fonte: Adaptado de MEX Online

Como ocorre com as demais disciplinas, em CH, para gestão do conhecimento, armazenam-se, no MEX, informações do projeto atual e de anteriores para utilização em projetos futuros.

As documentações entregues ao cliente são: o projeto Hidrossanitário, no formato DWG, advindo do modelo detalhado do Revit; listas de materiais, advindas do MEX, na linguagem XLS (nas formas eletrônica e papel) e o modelo geral, para visualização no NavisWorks, caso este último escopo esteja no contrato.

3.7.9. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Drenagem/Pavimentação (CD)

A metodologia de trabalho da disciplina de Drenagem e Pavimentação também é muito parecida com aquela adotada pela Arquitetura. O Revit (Autodesk) é utilizado para composição da modelagem nas fases do projeto básico e detalhado. O *software* também pode ser utilizado para estudos iniciais na fase inicial do projeto (conceitual), apesar de não existirem, necessariamente, desenhos ou modelagem na primeira fase desta disciplina. O projeto geométrico (arruamento interno às fábricas) é sempre desenvolvido em paralelo à drenagem pluvial, pois existe uma interdependência entre eles.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina CD – Drenagem / Pavimentação.

Na elaboração do projeto conceitual pode-se utilizar o Revit (Autodesk) para composição de estudos iniciais do projeto geométrico e respectiva drenagem. Não há, contudo, necessidade de elaboração de modelos na concepção do produto.

Na fase de projeto básico inicia-se a modelagem referente aos projetos de drenagem e pavimentação (projeto geométrico ou arruamento). O software utilizado é também o Revit, da Autodesk.

No projeto detalhado, onde também se utiliza o Revit, recebem-se os *inputs* definidos no projeto básico no formato .RVT (linguagem própria da ferramenta da Autodesk). O modelo, nesta fase, precisa ser completado. Não são realizadas simulações nesta disciplina.

A exemplo das outras disciplinas, o modelo de Drenagem / Pavimentação é compilado na ferramenta NavisWorks, sendo que o arquivo da disciplina é disponibilizado, visualmente às outras, para verificação de interferências na forma de referência cruzada. O modelo Navis geral é gerado apenas na fase de entrega do projeto ao cliente. As informações do modelo geral são enviadas do Revit ao Navis no formato .RVT, linguagem nativa do *software* de modelagem.

Informações de especificações e de modelagens paramétricas de materiais advêm da ferramenta MEX nos formatos XLS e RSV, respectivamente, para o Revit, do modelo detalhado. Ao completar-se a modelagem, listas de materiais são exportadas do Revit ao MEX, no formato XLS para composição da lista geral; para aquisição dos materiais, pelo cliente, junto aos fornecedores.

Na gestão do conhecimento são utilizados aprendizados, documentos e/ou informações adquiridas em projetos anteriores. Essas informações, *know-how* e as boas práticas de Engenharia, utilizadas em projetos anteriores, são compiladas e armazenadas em um banco de dados do MEX e aplicadas em novos projetos que, porventura, utilizarão informações semelhantes.

O projeto da disciplina CD disponibiliza ao cliente modelos no formato .DWG 2D (referente ao modelo 3D dos projetos geométrico e de drenagem, gerados no Revit), Excel (contendo lista de materiais para compra) e o modelo geral integrado por meio do NavisWorks, contendo o projeto tridimensional de todas as disciplinas.

3.7.10. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Automação/Instrumentação (TI)

Na disciplina de Automação e Instrumentação Industrial, as ferramentas utilizadas nas fases de projeto conceitual, básico e detalhado são: AutoCAD 2D na primeira fase e o Revit para as outras duas. A comunicação entre AutoCAD e Revit ocorre na linguagem RVT, nativa do Revit. O *software* utilizado para simulações é o CONVAL, que não faz comunicação com as ferramentas de modelagem. As informações são enviadas diretamente deste *software* ao cliente, nos formatos PDF ou XLS (Excel).

Segundo o projetista entrevistado, o termo Automação refere-se, principalmente à comunicação de rede, ou seja, entre painéis, *softwares*, gerenciamento, controle de vazão, pressão, nível, temperatura, etc.

Para o entrevistado, na Automação, os PLCs são o cérebro da lógica de controle da planta. Neles está todo o controle da automação, por isso o PLC é também chamado de Controlador. Este dispositivo fica alocado na sala elétrica. Na planta (*site*) ficam alocados diversos painéis de campo (chamados de “remota” pelo grupo pesquisado). Esses painéis captam sinais discretos de instrumentos de medição de campo (medidores de pressão, vazão, temperatura, nível, etc.) e os envia ao controlador de Rede (PLCs). Deste controlador os dados são enviados a uma sala de controle (na sala elétrica) onde os dados são projetados em várias telas de supervisão. Por meio dessas telas os operadores desse sistema podem ver o que acontece na planta inteira, em tempo real (*online*) e atuarem em casos de detecção de problemas no funcionamento da fábrica.

Dessa forma, a lógica da Automação, em nível “crescente” seria composta por: Instrumentos de medição (em campo) → painéis de campo (remota) → PLC (controlador) → Sala de Controle (com telas de supervisão).

A entrevista foi realizada junto a um projetista na disciplina (da empresa “A”). A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina TI – Automação e Instrumentação Industrial.

A disciplina TI desenvolve o projeto para a infraestrutura de instrumentação e automação da planta industrial. O projeto conceitual é desenvolvido com apoio da ferramenta AutoCAD 2D (Autodesk). Iniciam-se os estudos dos sistemas e dispositivos de medição e controle da planta por instrumentação. O modelo 3D baseado em objetos paramétricos inicia-se no projeto Básico, utilizando-se o Revit. Esse fato mostra que a tecnologia BIM ou modelagem paramétrica não engloba todo o processo de desenvolvimento do projeto na disciplina.

Inicia-se, na fase de projeto básico, o modelo 3D parametrizado, utilizando-se o software Revit. Neste estágio a disposição dos instrumentos de controle é modelada. O modelo da disciplina precisa englobar os PLC’s (equipamentos de automação) e as telas de supervisão da planta. Como estes dispositivos ficam alocados na sala elétrica (elaborada no projeto da Arquitetura), o projeto da TI precisa estar alinhado com aquela disciplina, para composição de modelos compatibilizados. Em relação ao campo (planta industrial) o projeto de instrumentação e automação precisa conter a alocação dos diversos painéis de campo, que irão captar sinais

discretos dos instrumentos de medição (pressão, vazão, temperatura, nível, etc.) e os enviá-los aos controladores de Rede (PLCs). Destes controladores os dados serão enviados a uma sala de controle onde os dados serão projetados em várias telas de supervisão. O modelo 3D parametrizado precisa conter toda esta lógica de projeto.

O modelo de projeto detalhado é concluído empregando-se também o Revit, utilizando-se, para isso, informações advindas do projeto básico. Em nível de projeto, os dados de campo (como pressão, vazão, temperatura e nível) vêm dos fornecedores de equipamentos ou da disciplina Processo (KP). São vários os painéis espalhados pela planta inteira.

No projeto, a equipe de Automação/Instrumentação precisa mensurar a quantidade de instrumentos que serão utilizados em campo, por meio dos quais os sinais serão captados e enviados ao processador.

Os instrumentos de campo podem ser botoeiras de emergência, sistema liga-desliga de motores, etc. Dos painéis de campo os sinais são enviados ao controlador por meio de rede. Essa rede utilizada até os painéis precisa ser composta por eletrodutos protegidos; discriminados e separados da rede elétrica para que não haja interferências. Essa comunicação pode ser por meio de fibra óptica ou Profibus, mas, segundo o entrevistado, a fibra óptica é a mais comum de ser empregada. Toda esta lógica precisa estar completada no projeto detalhado.

Utiliza-se, como supracitado, o CONVAL para as análises necessárias. Com este software, na disciplina Instrumentação, segundo o entrevistado, compõem-se as chamadas Folhas de Dados; fazendo-se dimensionamento de válvulas de segurança, medidores de vazão, válvulas de controle, etc. O software dá suporte a todos esses dimensionamentos. Por exemplo: com os dados advindos da disciplina Processo, a Instrumentação verifica se os instrumentos a serem utilizados na planta conseguem ler as informações de que o processo necessita.

Na folha de dados é gerada uma memória de cálculo para compra de materiais e equipamentos. Esta memória de cálculo é emitida em PDF e enviada ao cliente juntamente com a folha de dados. Isso dá condições ao cliente de escolher, na compra, o equipamento que será adequado ao processo.

A disciplina, também, compõe o modelo único não parametrizado, na ferramenta NavisWorks. As informações das fases de Projeto Básico e Detalhado são enviadas ao *software* desta fase em DWG. Pelo Navisworks pode-se ter a localização da sala de controle, painéis de campo, etc. e

controle de interferências entre os painéis da Instrumentação e tubulações ou entre equipamentos e dispositivos de outras disciplinas. Toda a arquitetura da rede é montada nesta disciplina e pode ser visualizada por meio do NavisWorks.

O MEX é utilizado para gestão de materiais. Como se desenvolve, nesta disciplina, a infraestrutura da instrumentação e automação, precisa-se comprar eletrodutos, cabos, materiais de instalação e infraestrutura de rede. O MEX dá suporte a toda esta gestão de materiais necessários à disciplina.

Na Figura 60 mostra-se a descrição do MEX online de um tubo em poliamida 12 (Nylon 12) muito utilizado na de Automação e Instrumentação Industrial. O produto também possui aplicações em linhas de ar e combustíveis, linhas de processos para gases, de refrigeração, linhas hidráulicas de baixa pressão, etc.

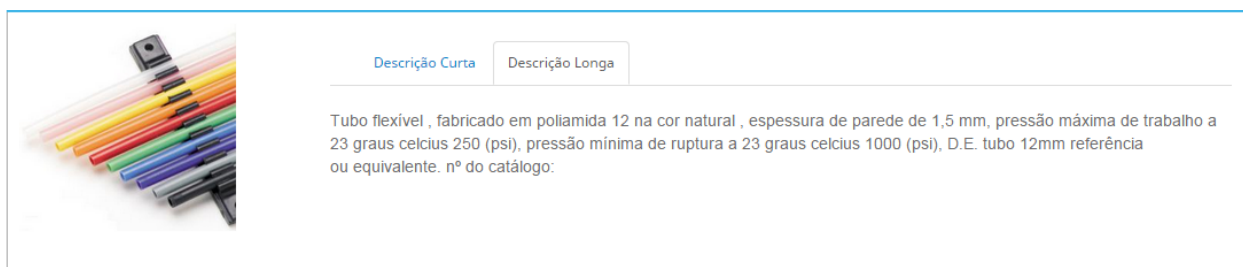


Figura 60 – Descrição longa de um tubo em poliamida 12 utilizado nas disciplinas de Automação e Instrumentação e linhas hidráulicas, de ar e combustíveis

Fonte: Adaptado do MEX versão online

Para a gestão do conhecimento, por meio do MEX armazenam-se e disponibilizam-se informações utilizadas em projetos realizados e em elaboração para aplicações em novos projetos.

O projeto de instrumentação e automação da planta é entregue ao cliente no formato DWG. As folhas de dados e a memória de cálculo (advindos da fase de simulação e dimensionamentos) são, normalmente, entregues no formato PDF.

3.7.11. Fluxo entre *softwares* na Disciplina Terraplanagem/Geometria (CV)

O desenvolvimento do projeto de terraplanagem está descrito a seguir, iniciando-se, comumente, a partir do projeto básico. A modelagem deste projeto é realizada com suporte do AutoCAD Civil 3D, um *software* 3D não parametrizado, que utiliza primitivas geométricas para representação do modelo.

A seguir estão descritas as ferramentas e linguagens (formatos) utilizadas por elas, em cada fase do projeto, na disciplina CV – Terraplanagem.

Normalmente, em CV, não há modelagens na fase conceitual. Estudos preliminares ficam restritos a estudos superficiais de volumetria, como estudos referentes a cortes e aterros; volumes de terraplanagem e estudo de empréstimos e bota-foras. O emprego do AutoCAD 2D pode ocorrer no caso de início do modelo na fase de projeto conceitual.

Na fase de projeto básico inicia-se a modelagem do projeto de terraplanagem. Existem duas opções: ou este projeto vem do cliente em AutoCAD 2D, ou elabora-se o modelo no formato tridimensional, utilizando-se o software da Autodesk Civil 3D. As duas situações, também, podem coexistir. Quando isso acontece, os dados do projeto do cliente são repassados do AutoCAD para o Civil 3D em DWG.

O projeto detalhado recebe os inputs da fase de projeto básico. Aqui a modelagem é concluída, obtendo-se toda a geometria da terraplanagem, como curvas de nível, informações de volumetria para cortes e aterros, bota-foras etc. O software utilizado, também o Civil 3D. Nesta fase são definidas, também, as camadas de cortes e aterros, soluções de execução de aterros com presença de rochas, inclinação de corte dos taludes, orientações para execução de bermas de equilíbrio em função do solo do talude, retaludamentos, drenagens superficiais, etc. Não são realizadas simulações nesta disciplina.

O modelo do projeto de terraplanagem, elaborado no Civil 3D, integra o modelo unificado na ferramenta NavisWorks. Este *software* recebe informações daquele na linguagem .DWG. Nesta fase o modelo do Navis da disciplina em questão é disponibilizado às outras disciplinas, por meio de arquivos de referência cruzada, para visualização e verificação/resolução de interferências. Aliado ao modelo Navis das outras disciplinas, este arquivo irá compor o modelo geral da fase de entrega ao cliente, também em NavisWorks. Não existe gestão de materiais no projeto de terraplanagem elaborado pelo grupo pesquisado.

Na fase de gestão do conhecimento o MEX recebe informações de projeto da disciplina, como planilhas em Excel, apresentações em Powerpoint, catálogos, etc.

Os entregáveis ao cliente são: um modelo DWG 2D (modelagem de terraplanagem) e o modelo geral, não parametrizado, compilado na ferramenta Navisworks, incluindo as demais disciplinas.

3.7.12. Compilação do fluxo das trocas de informações entre os softwares empregados

O fluxograma que ilustra, de forma sintética, todas as trocas de informações de projeto nas diferentes fases e disciplinas, com identificação das ferramentas utilizadas, bem como os formatos e/ou extensões utilizadas para essas trocas pode ser visto na Figura 61.

Além de ferramentas 2D, o grupo pesquisado utiliza, na elaboração de projetos, ferramentas de modelagem tridimensional que se encaixam tanto no conceito BIM (específico do setor AEC) quanto no conceito de modelagem paramétrica industrial (voltada à indústria manufatureira).

Quanto à fase de gestão de materiais e do conhecimento, a ferramenta MEX não é subdividida por disciplinas. As várias caixas do fluxograma, que representam o software MEX, nesta fase, na verdade, representam apenas uma ferramenta, por meio da qual ocorrem o envio e o recebimento de informações de materiais e de projeto.

Na Figura 61 utilizou-se um sistema de cores para identificação e discriminação das ferramentas e/ou documentações empregadas para elaboração e entrega dos projetos ao cliente. A cor vermelha foi utilizada para identificação de documentações que são entregues no formato papel, impresso. Ferramentas de modelagem bidimensional estão destacadas em amarelo. Softwares de modelagens 3D - não parametrizadas – estão identificados em azul. A ferramenta MEX, utilizada para gestão de materiais e de conhecimento de projeto foi identificada com a cor alaranjada. Os softwares de suporte à modelagem tridimensional parametrizada foram identificados com a cor verde.

Além dos projetos descritos neste trabalho, o grupo pesquisado ainda contrata – de empresas externas ao grupo – projetos de ar condicionado, que não é desenvolvido pelas empresas pesquisadas.

3.8. Interoperabilidade Interdisciplinar entre *softwares* das disciplinas de Arquitetura e Estruturas Metálicas no grupo pesquisado

Metodologicamente, escolheram-se, neste trabalho as disciplinas de Arquitetura (CA) e de Estruturas Metálicas (ST) – do grupo pesquisado - para ilustração da interoperabilidade interdisciplinar entre as ferramentas utilizadas na elaboração do projeto 3D, com parâmetros e regras associadas, em diferentes disciplinas.

Na fase conceitual, iniciam-se, na Arquitetura (CA) os estudos de volumetria, utilizando-se a ferramenta Revit Architecture (Autodesk). Paralelamente, a disciplina de Estruturas Metálicas (ST) utiliza o AutoCAD 2D para estimativa de peso de material, tendo em mãos apenas a área a ser construída. Dessa forma esta estimativa vale-se da experiência do calculista adquirida em processos anteriores. Na fase de projeto básico o modelo da CA começa a tomar forma. Em casos de falta de biblioteca de famílias de objetos paramétricos para a modelagem, essas são enviadas ao Revit, do banco de dados do MEX, nos formatos XLS (para especificações de material) e RSV (para famílias de objetos). Com informações do pré-dimensionamento da Arquitetura, ST inicia a modelagem no *Revit Structure*; que também pode receber informações de materiais do MEX, nos mesmos "moldes" de CA. Esta modelagem estrutural também pode elaborada via SAP2000 da empresa Computers & Structures, Inc. Na fase de projeto básico, ST inicia a análise e o dimensionamento estrutural no SAP2000. Informações são trocadas entre Revit e SAP por meio do formato neutro SDNF. Informações e/ou alterações dimensionais são enviadas do Revit Structure para o Architecture em linguagem RVT. No projeto detalhado, com as dimensões estruturais ajustadas, CA conclui a modelagem. Em consonância com a CA, ST também compila o projeto executivo, completando seu modelo no Revit Structure ou SAP2000; e fazendo-se o dimensionamento e a análise no SAP2000.

Por meio da Figura 62 podem-se visualizar estruturas metálicas de escadas e passarelas de acesso de um edifício operacional (projeto industrial). O item (a) ilustra o modelo estrutural modelado no *software* de análise estrutural SAP2000; em (b) pode-se ver o modelo estrutural compatibilizado ao modelo 3D arquitetônico, na ferramenta Revit Architecture.

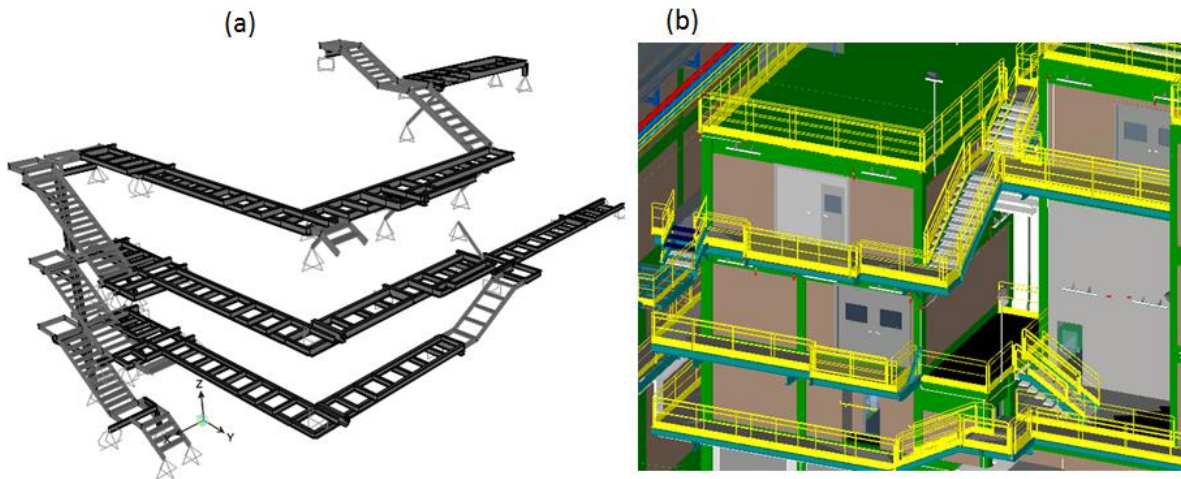


Figura 62 – Estruturas Metálicas de Escadas e Passarelas moldadas na ferramenta SAP2000 (a) e compatibilizada ao modelo Arquitetônico no Revit Architecture (b)

Fonte: Arquivo Técnico das Empresas "C" e "A", respectivamente

Na fase de simulações ST elabora o projeto para produção ou detalhado com auxílio do *software* X-Steel. A partir do projeto básico, diariamente, à medida que são desenvolvidos, os modelos 3D parametrizados de ambas as disciplinas (desenvolvidos no Revit Architecture e Structure) são convertidos em modelos (também disciplinares) na ferramenta NavisWorks. Nesta ferramenta as disciplinas se comunicam por meio de arquivos de referência cruzada, apenas para visualização e verificação de interferências. A comunicação entre o Revit (Architecture e Structure) e o Navis é feita na linguagem RVT. Ao final do projeto é gerado um arquivo único, que engloba tanto as duas disciplinas em questão quanto as demais, possibilitando a entrega de um modelo 3D unificado para o cliente, porém não parametrizado. Também são entregues os projetos arquitetônico e estrutural executivos, no formato DWG, eletrônico e impresso. Da mesma forma listas de materiais são retiradas em formato XLS, diretamente da ferramenta MEX, referente às duas disciplinas, e destinadas ao cliente.

De acordo com o exemplo acima, apesar das trocas de arquivos ocorrerem por meio de formatos de padrões proprietários, pode-se notar que o problema da falta de interoperabilidade está, em parte, resolvido entre as disciplinas. Em partes pelo fato de o modelo integrado (via Navisworks) possuir apenas características geométricas, visuais, com perdas de informações paramétricas inerentes aos modelos disciplinares elaborados com o auxílio de ferramentas específicas de modelagem.

Fica evidente que o grupo pesquisado, neste caso, possui preferência em trabalhar com ferramentas Autodesk para modelagens e gestão do modelo único, fato que facilita a

interoperabilidade, apesar de não ser um padrão open BIM, o que seria o ideal. Algumas trocas de informações na disciplina ST, porém, utilizam o padrão aberto SDNF.

Sugere-se aqui, que, como ambas as disciplinas utilizam o Revit, poder-se-ia adotar o padrão IFC para essas trocas entre os modelos das disciplinas, um padrão aberto de compartilhamento, caracterizado como open BIM.

Um fato inovador é o fato de que o grupo pesquisado ter desenvolvido a ferramenta MEX – Material Explorer – para a gestão de materiais paramétricos da modelagem arquitetônica e estrutural (aço).

Todos esses fatos mostram que a interoperabilidade interdisciplinar (entre CA e ST) foi resolvida pelo grupo pesquisado, que possui potencial de elaborar modelos parametrizados, com regras associadas, de ambas as disciplinas, realizando-se trocas de dados sem prejuízo para as partes. O único problema é que as soluções adotadas, neste caso, para padronização de materiais possuem um modelo fechado de compartilhamento. Uma empresa de projeto que não possua o MEX, por exemplo, continuará tendo problemas em relação às famílias de objetos inteligentes. Dessa forma o grupo pesquisado resolve o problema de interoperabilidade de forma local, mas poderia de alguma forma, buscar por soluções mais globais, com envolvimento de outros agentes do processo, com um compartilhamento aberto de dados entre os envolvidos no processo de projeto. Com isso, a interoperabilidade, apesar de existir, continua ineficiente quanto à questão do compartilhamento de livre acesso a diferentes grupos, conceito intrínseco ao termo *open BIM*.

As trocas de dados nas fases de projeto das disciplinas Arquitetura e Estruturas Metálicas, bem como o compartilhamento interdisciplinar de informações entre ambas são mostradas na Figura 63. O modelo englobando todas as disciplinas do grupo pesquisado pode ser visualizado pela Figura 61, mostrada anteriormente.

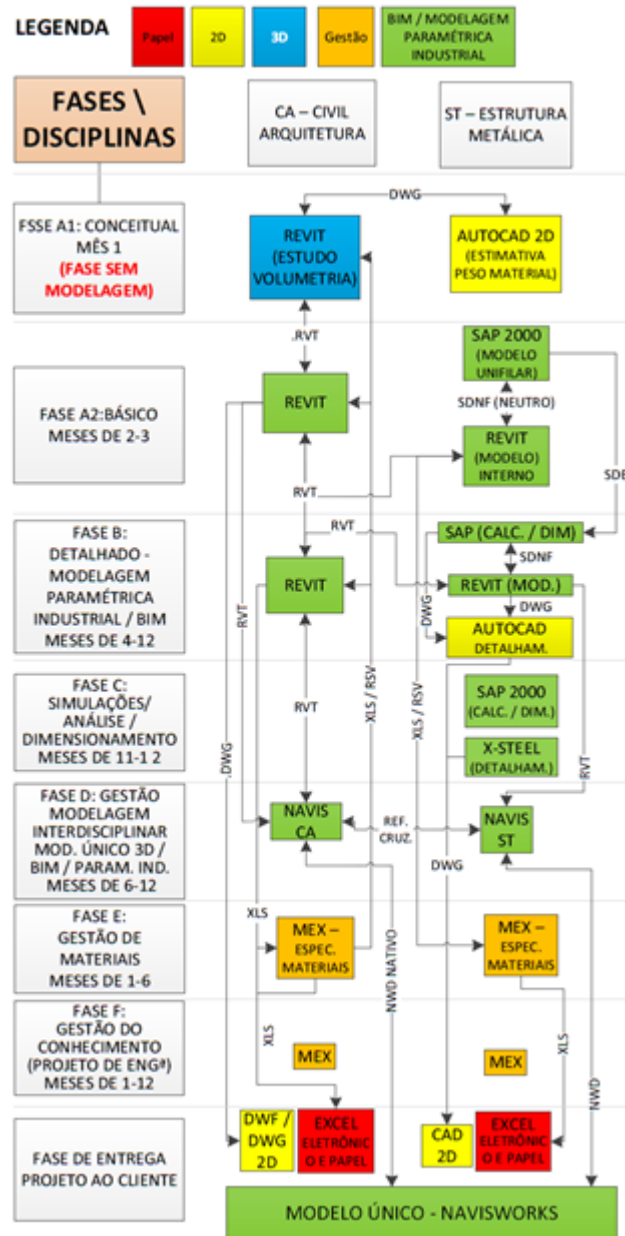


Figura 63 – Interoperabilidade Interdisciplinar referente às disciplinas de Arquitetura e Estruturas Metálicas do Grupo Pesquisado

Fonte: desenvolvido pelo autor deste trabalho

3.9. Centralização do Modelo Digital – Gestão da Modelagem Tridimensional

Para gestão e centralização do modelo tridimensional desenvolvido pelas diferentes disciplinas, o grupo pesquisado utiliza a ferramenta Navisworks, da Autodesk. De acordo com o coordenador da Disciplina de Automação de Projetos (AP) da Empresa “B” utiliza-se um modelo Navisworks por disciplina, que é atualizado diariamente. Para o compartilhamento e visualização da modelagem em geral, as disciplinas se comunicam por meio de arquivos de referência cruzada entre os vários modelos disciplinares. Ao final do projeto compila-se um modelo único no

Navisworks. De acordo com os gestores não se utiliza visualização em tempo real para as disciplinas, pois, alterações no modelo por uma disciplina específica podem comprometer um trabalho, em andamento, de outra equipe de projeto. O coordenador de AP declarou: *“no início utilizávamos visualização do modelo 3D para todas as disciplinas, que enxergavam, do seu software específico, o modelo único, ao passo que este ia sendo atualizado por todas as equipes. Mas, começamos a ter problemas quando, por exemplo, a disciplina de Estruturas (ST) alterava a localização de uma viga sendo que a equipe de Tubulações (HT) já havia utilizado o referido elemento para suporte de um dado tubo. Quando a viga era retirada, a tubulação, em tese, ficava suspensa, sem suporte, o que gerava um erro sem retorno no software da disciplina HT. Dessa forma decidimos que, trabalharíamos, então, com atualizações periódicas – uma vez por dia”*.

Ou seja, para cada disciplina, existe um arquivo Navis que é visualizado pelas demais disciplinas. Para que isso seja possível o modelo 3D desenvolvido pela disciplina é disponibilizado no “Review” do Navisworks. Esses modelos disciplinares geram o arquivo único ao final do projeto.

De acordo com o consultor técnico da empresa “B” o grupo possui uma rotina diária de atualização do modelo digital, com as informações atualizadas por cada disciplina, de acordo com o desenvolvimento do projeto. Esse fato – também uma área de atuação da Empresa “B” - elimina o risco da falta de atualização do modelo único por questões de esquecimento de algum ente envolvido no processo.

Vale salientar que o modelo único, no Navis, no entanto, não é parametrizado. Ele carrega apenas informações de apoio à modelagem de uma disciplina para outra e informações geométricas para verificação de interferências. O modelo parametrizado fica restrito a cada uma das disciplinas, nos softwares específicos de modelagem. O modelo integrado trata-se de apenas uma representação geométrica do modelo tridimensional parametrizado. Esse fato mostra que a tecnologia BIM ou de modelagem parametrizada industrial não engloba todas as etapas de projeto, uma vez que um modelo único, parametrizado não existe, sendo apenas uma representação dos vários modelos paramétricos presentes em cada disciplina.

Há, no entanto, a possibilidade de criação de um modelo único, parametrizado entre diferentes disciplinas. Isso acontece quando as disciplinas de Elétrica, Arquitetura, Estrutura Metálica, Concreto Armado/Protendido, Hidrossanitário, Pavimentação, e Instrumentação adotam a família

REVIT da Autodesk para composição do Projeto Detalhado ou arranjos espaciais (Mecânica). Como modelagem (ou alocação de equipamentos) a Mecânica ainda pode abrir mão da modelagem no Inventor que possui interoperabilidade padrão proprietário com o Revit, sendo ambos da Autodesk.

Utilizando-se a família Revit as disciplinas poderiam trabalhar em um modelo único, parametrizado, com raras exceções (tubulações), mas, segundo os entrevistados, este modelo fica muito pesado, carregado, e ainda não engloba todas as disciplinas de modelagem, o que, segundo eles, não é funcional. Por razões como esta, o modelo único é utilizado apenas como visualização e verificação de interferências, utilizando-se Navisworks (Autodesk).

Salienta-se que a alternativa de elaboração de um modelo integrado por meio de padrões abertos, como IFC e CIS/2, pode se tornar inviável uma vez o grupo pesquisado possui disciplinas mescladas entre diferentes indústrias (AEC, Siderurgia, Mineração, etc.), para as quais esses padrões normativos se sobrepõem de forma ainda não harmonizada.

Em função da possibilidade de realização de simulações 4D por intermédio da ferramenta *Timeliner* do Navisworks (Autodesk, 2014) as empresas pesquisadas foram interrogadas em relação à vinculação das tarefas do cronograma ao modelo tridimensional. Em entrevista, o líder da disciplina de Automação de Projetos - AP - informou que o grupo pesquisado conhece a aplicação da ferramenta nesse sentido, contudo, por enquanto, os cronogramas são compostos por ferramentas específicas, como MS Project e Primavera e não são atrelados ao modelo 3D. Segundo o entrevistado, nos projetos correntes elaborados pelo grupo *não se trabalha com simulação 4D*, pois, a contratação de projetos (*design*) pelos *owners* ainda acontece de forma desvinculada à fase de produção. O entrevistado informou que o grupo pesquisado tem procurado realizar trabalhos neste sentido, contudo, sem sucessos. Afirmou ainda que "*o Navisworks permite a criação de um cronograma, mas a ferramenta é muito limitada para tal atividade*", sendo preferível, pelo grupo, a utilização de ferramentas específicas.

De acordo com o exposto pelo entrevistado, pode-se concluir que, assim como ocorre no setor AEC, a cultura de contratação de projetos (*design*) desvinculada ao processo produtivo está presente em processos construtivos de outras indústrias, apesar dos consideráveis investimentos em tecnologias e mão-de-obra de Engenharia.

3.10. Fluxo de desenvolvimento de modelagem 3D por disciplina

A Figura 64 apresenta o fluxo de desenvolvimento de projetos 3D, por disciplina, no grupo pesquisado, por meio de uma matriz de responsabilidade. Destaca-se a figura do gerente ou coordenador geral do projeto (referenciado na figura como Coordenador de Projeto 3D) como fomentador da gestão de todo esse fluxo. Sob sua coordenação toda a equipe de projeto é definida, com exceção dos líderes das disciplinas que possuem posições "fixas" no organograma de quaisquer projetos dentro do grupo pesquisado. A figura do coordenador do projeto, como gestor, atua em todo o ciclo de vida da projeção, desde a apresentação do escopo dos serviços até a aprovação e a entrega da documentação de projeto ao cliente final.

Outro fato a ser destacado neste processo é a figura dos administradores de sistemas 3D. Esses profissionais atuam, no grupo, no sentido de dar o suporte necessário às equipes de projetos, desde as tarefas de intercâmbio de informações entre ferramentas 3D, BIM ou de Modelagem Paramétrica Industrial, passando pelas especificações de materiais, até trabalhos de criação de objetos paramétricos para os *softwares* de modelagem. Todas essas tarefas desenvolvidas pelos administradores 3D são realizadas via ferramenta MEX – *Material Explorer*.

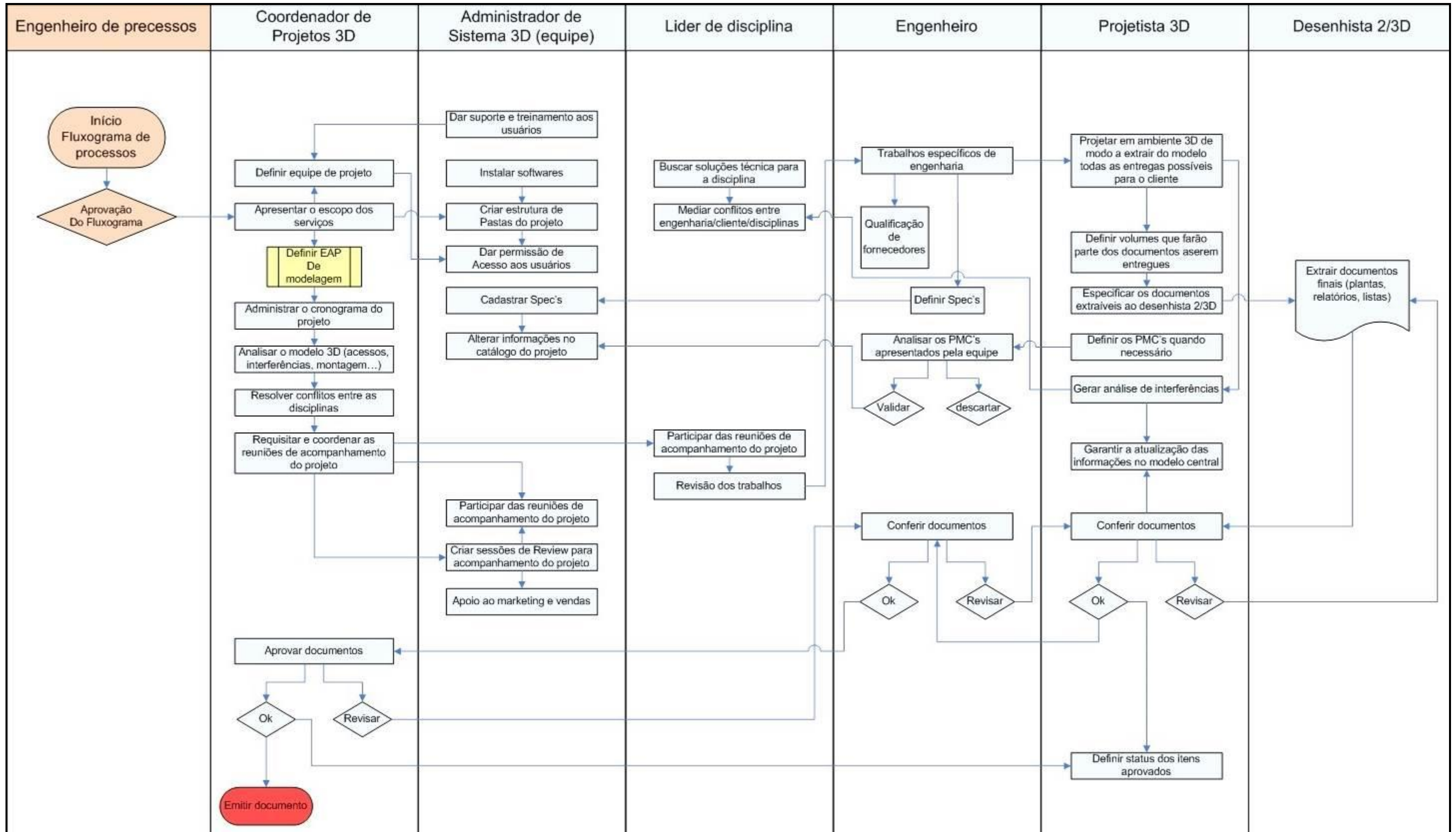


Figura 64 - Fluxo de Trabalho 3D por disciplina
 Fonte: adaptado de arquivo técnico do grupo pesquisado

A Figura 64 mostra que o fluxo de desenvolvimento de projetos 3D, por disciplina, no grupo pesquisado, passa pelos seguintes responsáveis, com respectivas responsabilidades:

- **Gerente ou Coordenador Geral do Projeto 3D:**
 - Define a equipe de projeto;
 - Apresenta o escopo do serviço;
 - Define as Estruturas Analíticas dos Projetos – EAPs;
 - Administra o cronograma do projeto;
 - Analisa o modelo 3D (acessos, interferências, montagem, etc.);
 - Dá soluções aos problemas de conflitos entre as disciplinas – compatibilização de projetos;
 - Requisita e coordena reuniões de acompanhamento do projeto;
 - Aprova documentações (plantas, relatórios, listas de materiais, etc.);
 - Libera a emissão da documentação de projeto pelos desenhistas para envio ao cliente final.
- **Engenheiro do Processo:**
 - Dá início ao fluxograma de processos;
 - Aprova o fluxograma de processos.
- **Administrador de Sistema 3D (equipe):**
 - Dá suporte e treinamento aos usuários;
 - Implanta (instala) softwares;
 - Cria estruturas de Pastas de Projetos;
 - Dá permissão de acesso aos usuários;
 - Cadastra as SPECs – Especificações Técnicas de Projeto;
 - Altera informações no catálogo do projeto;
 - Participa das reuniões de acompanhamento do projeto;
 - Cria e organiza seções “Design Review” para acompanhamento do projeto;
 - Apoia os setores de Marketing e Vendas
- **Líder de Disciplinas**
 - Busca Soluções Técnicas para a Disciplina;
 - Faz mediações de conflitos entre Engenharia/Cliente/Disciplinas;
 - Participa das reuniões de acompanhamento do projeto;
 - Faz revisão dos trabalhos;

- **Engenheiro**
 - Trabalhos específicos de Engenharia;
 - Qualificação de fornecedores;
 - Definição de SPECs - Especificações Técnicas de Projeto;
 - Analisa as PMCs apresentados pela equipe;
 - Valida ou descarta as PMCs apresentados pela equipe;
 - Confere e aprova documentações de Engenharia, em geral.

- **Projetista 3D**
 - Projeta em ambiente 3D de modo a extrair, do modelo, todas as entregas possíveis para o cliente;
 - Define volumes que farão parte dos documentos a serem entregues para o cliente;
 - Especifica os documentos extraíveis ao desenhista 3D;
 - Define os PMCs quando necessário;
 - Gerencia análise de interferências;
 - Garante a atualização das informações no modelo central (Algum específico???)
 - Confere documentações entregáveis ao cliente;
 - Define status dos itens aprovados;

- **Desenhista 3D**
 - Extrai documentos finais (plantas, relatórios, listas, etc.).

Vale a pena destacar que o grupo pesquisado tem buscado, em todo o seu processo de desenvolvimento de projetos, se desenvolver na direção de diminuir a elaboração de projetos com representação bidimensional e aumentar a elaboração de projetos tridimensionais, de preferência valendo-se da tecnologia BIM ou modelagem paramétrica industrial.

Segundo informações do Coordenador da Disciplina de Automação de Projetos (AP) - Empresa “B” - *“esse movimento vem ao encontro da necessidade de reduzir os erros no processo de trabalho decorrentes de complexidade da troca de informações entre todos os envolvidos nos projetos. O potencial da tecnologia 3D permite análise, simulação e extração de dados do modelo, possibilitando ganhos de confiabilidade para as informações geradas durante todo o processo, bem como o estudo das possíveis interferências.”*

3.11. Matriz de Responsabilidades Contratuais de Projeto

Um fato importante diz respeito às responsabilidades de realização de tarefas específicas em dado projeto contratado. A Tabela 5 mostra que uma atividade de mudança de escopo (ME) precisa ser solicitada e aprovada pelo gestor do contrato (cliente), emitida pelo gestor de contrato da empresa "A" e na sequência ser enviada pelo setor de planejamento de "A" às demais equipes de projeto para as devidas alterações. O planejamento dos serviços de elaboração do projeto, por sua vez, recebe comentários do coordenador do projeto (cliente) e aprovação do setor de planejamento (cliente). Na seguida é recebido pela equipe responsável por documentações técnicas ("A"), emitida pelo gestor contratual ("A"), executada pelo setor de planejamento ("A") e enviada ao cliente pela equipe de documentação técnica ("A").

Desenhos e documentações de projeto das equipes Civil (Concreto Armado, Estrutura Metálica, Arquitetura, Terraplanagem, etc.) precisam passar pelas seguintes responsabilidades: aprovação do coordenador de projetos do cliente; comentários das equipes de apoio técnico (cliente) das disciplinas de Civil, Mecânica e Infraestrutura; emissão pelo gestor contratual (cliente); envio às equipes de projeto pela equipe de documentação técnica ("A") e elaboração pelas disciplinas de Civil, Infraestrutura e Metálica (empresa "A"). Da mesma forma, as diversas atividades relacionadas aos projetos mecânico, elétrico, dentre outras, possuem diferentes responsabilidades entre os vários agentes envolvidos no processo de projeto. Como supracitado, a matriz de responsabilidades contratuais está resumida no quadro da Tabela 5.

Tabela 5 – Matriz de responsabilidade para alteração de escopo de projetos contratados

RESPONSÁVEL																									
ATIVIDADE	GESTOR FINANCEIRO CONTRATO (CLIENTE)	COORDENADOR PROJETOS (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO CIVIL (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO ARQUITETURA (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO CONCRETO (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO ESTRUTURAS METÁLICAS (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO MECÂNICO (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO ELÉTRICA (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO INSTRUMENTAÇÃO (CLIENTE)	APOIO TÉCNICO INFRAESTRUTURA (CLIENTE)	PLANEJAMENTO (CLIENTE)	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA (CLIENTE)	SETOR DE QUALIDADE (CLIENTE)	GESTOR CONTRATO	PLANEJAMENTO	SETOR DE QUALIDADE	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA	DISCIPLINA CIVIL/INFRAESTRUTURA	DISCIPLINA METÁLICA	DISCIPLINA MECÂNICA	DISCIPLINA TUBULAÇÃO/ PROCESSO	DISCIPLINA ELÉTRICA	DISCIPLINA INSTRUMENTAÇÃO	DISCIPLINA AUT. PROJETOS	
ABERTURA DE ME (MUDANÇA DE ESCOPO)	AP													EM	EV										
PLANEJAMENTO DOS SERVIÇOS		CM									AP	RC		EM	EX		EV								
DESENHOS / DOC. DE PROJETO - PROCESSO		AP					CM	CM				RC	EM				EV							EX	
DESENHOS / DOC. DE PROJETO - CIVIL		AP	CM				CM			CM		RC	EM				EV	EX	EX						
DESENHOS / DOC. DE PROJETO - MECÂNICO		AP					CM					RC	EM				EV			EX					
DESENHOS / DOC. DE PROJETO – ELÉTRICO		AP							CM			RC	EM				EV								
DESENHOS / DOC. DE PROJETO – INST./CONTROLE		AP							CM			RC	EM				EV					EX	EX		
RELATÓRIO MANSAL DE ATIVIDADE	CM	AP	CM							CM	CM	RC		EM	EX		EV								
LISTA DE PENDÊNCIA	RC	AP	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	AP	EM		EV								
MEDIÇÃO DE SERVIÇOS		AP	CM				CM		CM	CM		RC		EM	EX		EV								
MAPA DE ACOMPANHAMENTO DO CONTRATO	AP	CM												EM	EX										
LEGENDA	EX – EXECUTA											AP – APROVA		CM – COMENTA											
	EM – EMITE											RC – RECEBE		EV – ENVIA											

Fonte: Adaptado de Arquivo Técnico do Grupo Pesquisado

3.12. Forma diferenciada de remuneração dos projetos baseada no desenvolvimento do modelo 3D

Como o projeto contratado é elaborado pelo grupo pesquisado em forma de modelo tridimensional, existe uma particularidade na forma de remuneração do cliente aos serviços prestados pelas empresas projetistas. Essa remuneração ocorre por meio de medições periódicas que são elaboradas com base no avançamento do modelo 3D. Cada disciplina de projeto mensura o progresso do modelo disciplinar, de forma separada ao modelo geral (vide Figura 65). A medição total é obtida por meio da soma das medições por disciplinas e na sequência é enviada ao cliente para o faturamento financeiro.

DISCIPLINAS	CRITÉRIO DE MEDIÇÃO CHAVES	AVANÇO PERCENTUAL SUGERIDO	ENTREGA PARA O CLIENTE
ARQUITETURA	Edificação	100 %	Conduída a modelagem das alvenarias, aberturas (portas e janelas), pisos, forros, cobertura, tapameento, louças, metais da edificação.
CONCRETO	INFRAESTRUTURA	100 %	Conduída a modelagem do estaqueamento, fundações direta e bloco da edificação.
	SUPERESTRUTURA	100 %	Conduída a modelagem dos pilares, vigas e lajes da edificação.
	BASE DE EQUIPAMENTO	100 %	Conduída a modelagem das bases de equipamentos na edificação
	TERRAPLENAGEM	100 %	Conduída a modelagem dos platôs
DRENAGEM	Sistemas	100 %	Conduída a modelagem da rede de coleta da água pluvial.
HIDROSANITÁRIO	Sistemas	100 %	Conduída a modelagem de cada sistema na edificação (Sistema: Água Potável, Água Reuso, Esgoto Sanitário).
METÁLICA	Edificação	100 %	Conduída a modelagem dos pilares, vigas, cobertura, tapamentos, escada, passadiços e mezaninos da edificação.
ELÉTRICA	Edificação - Distribuição de Força	100 %	Conduída a modelagem das bandejas e disposição dos eletrodutos para distribuição dos circuitos de força na edificação
	Edificação - Iluminação	100 %	Conduída a modelagem da iluminação na edificação
	Rota Principal de Cabos	100 %	Conduída a modelagem da rota principal de cabos
INSTRUMENTAÇÃO	Instrumentos	100 %	Conduída a modelagem da alocação dos instrumentos
	Edificação - Distribuição de Controle e Instrumentação	100 %	Conduída a modelagem da disposição dos eletrodutos para distribuição dos circuitos de controle e instrumentação na edificação
MECÂNICA	Equipamentos Mecânicos e Caldeirarias (taques)	20 %	Conduída a modelagem do equipamento
	Prédio em estrutura metálica	30 %	Conduída a modelagem da edificação
	Pisos e bases de equipamentos	10 %	Conduída a modelagem das Bases dos equipamentos
	Caldeirarias de transição (chutes, calhas, etc)	10 %	Conduída a modelagem do equipamento
	Consolidação do modelo	30 %	Conduída a Consolidação do Modelo
TUBULAÇÃO	Fluído	100 %	Conduída a modelagem do Fluído

Figura 65 - Proposta de Avançamento Físico-Financeiro entregue ao cliente.

Fonte: Arquivo Técnico do Grupo Pesquisado

No grupo pesquisado, o peso das atividades de modelagem 3D em relação à medição total é definido de acordo com as particularidades de cada disciplina. A evolução das atividades de elaboração do modelo, em cada disciplina, considera alguns "Critérios de Medições-Chaves" conforme mostra a Figura 66. Esses critérios apontam os itens-chaves que representarão a progressão das tarefas de modelagem de cada disciplina.

A medida da quantidade modelada do projeto arquitetônico e de estrutura metálica é representada pela progressão da modelagem das edificações presentes nas instalações industriais, como por exemplo, escritórios, salas elétricas, alvenarias, dentre outras. A disciplina de Concreto Armado e Protendido mensura o status de modelagem quantitativa das edificações (assim como

na Arquitetura) e do projeto das bases de equipamentos (detalhamento da ancoragem aos pisos industriais).

Nessa mesma direção, cada disciplina possui os seus próprios critérios chaves de medição e ao final essas medições por disciplinas se somam para representarem a medição geral, do modelo integrado.

DISCIPLINAS		CRITÉRIO DE MEDIÇÃO CHAVES
ARQUITETURA		Edificação
CONCRETO	INFRAESTRUTURA	Edificação
	SUPERESTRUTURA	Edificação
	BASE DE EQUIPAMENTO	Base de equipamentos
TERRAPLENAGEM		Platôs
DRENAGEM		Sistemas
HIDROSANITÁRIO		Sistemas
METÁLICA		Edificação
ELÉTRICA		Edificação - Distribuição de Força
		Edificação - Iluminação
		Rota Principal de Cabos
INSTRUMENTAÇÃO		Instrumentos
		Edificação - Distribuição de Controle e Instrumentação
MECÂNICA		Equipamentos Mecânicos e Caldeirarias (taques)
		Prédio em estrutura metálica
		Pisos e bases de equipamentos
		Caldeirarias de transição (chutes, calhas, etc)
TUBULAÇÃO		Fluído

Figura 66 - Critério de Medições Financeiras-Chaves

Fonte: Arquivo Técnico Empresa “A”

Em casos de revisões ou alterações de escopo que interfiram nos custos contratuais - desde que aprovadas pela empresa contratante e pela contratada - faz-se uma alteração do valor da ordem de compra, como também do contrato de prestação de serviços entre as partes. Os custos dessas

alterações, conforme acordado entre os setores comerciais de cada parte, são acrescidos ao montante original e as medições do avançamento do modelo passam a considerar os novos serviços acrescidos, guardando as mesmas características de medições e remuneração supracitadas.

Um fato a ser destacado é que essa forma de se contratar e remunerar projetos rompe com a forma tradicional por estimativas e/ou realização de formatos. A remuneração dos projetos baseada no desenvolvimento do modelo 3D é justificada uma vez que a modelagem tridimensional parametrizada é uma representação digital das instalações ou do empreendimento a ser construído.

3.13. Coordenação do Processo de Projetos pelo grupo pesquisado

Como mostrado anteriormente, o grupo pesquisado é formado por diferentes disciplinas de projetos da indústria AEC (como Arquitetura, Estruturas metálicas e de Concreto armado, etc.) e de outras indústrias (como Mecânica, Tubulações, Elétrica Industrial, etc.); trabalhando colaborativamente com o objetivo comum de compilar-se um modelo tridimensional integrado que represente o empreendimento a ser construído, de acordo com o programa de necessidades do cliente. Além disso, outros agentes do processo produtivo, como o próprio cliente, os fornecedores de materiais e de equipamentos, unem-se às equipes de projeto desde as fases iniciais do processo. O projeto, como produto final, conta, dessa forma, com visões e contribuições de diferentes agentes de toda a rede.

A coordenação de projeto das empresas pesquisadas procura envolver, desde o início do projeto conceitual, todos os "interessados" no processo, como contratantes, gestores externos, fornecedores de materiais e de equipamentos, construtores, engenheiros de processo, projetistas, desenhistas, arquitetos, etc. Para isso, reuniões periódicas são realizadas entre os principais membros das organizações com papel significativo no processo de projeto com a finalidade de iniciar preventivamente o planejamento e a comunicação direta entre os envolvidos.

Para cada projeto específico, uma equipe de projeto é formada. Essa equipe, normalmente é composta por um coordenador do projeto, pelos líderes das disciplinas envolvidas, por engenheiros das diferentes áreas (que coordenam o projeto dentro da disciplina), por projetistas e desenhistas. Uma questão a ser levantada, porém, é que os líderes das disciplinas participam de diferentes projetos, diferentemente dos demais agentes, que possuem "dedicação exclusiva" a determinado projeto.

A título de exemplo de trabalho colaborativo no processo de projeto (*design*) no grupo pesquisado, cita-se a questão da "integração física" das equipes sob gestão da Empresa "A".. Estrategicamente o grupo reúne as diferentes equipes de projeto em um único edifício. A Empresa "A" - responsável principal pelos contratos – soma a seus profissionais agentes das empresas "B", "C" e "D" em seu próprio estabelecimento. Dessa forma obtém-se uma proximidade física entre os diferentes agentes, fato, que segundo os entrevistados, facilita a gestão das equipes. Nesse cenário, reuniões periódicas (ou excepcionais), específicas de projeto (*design*) são realizadas durante todo o período de elaboração do modelo digital, entre o coordenador do projeto, os líderes de disciplinas, os engenheiros, projetistas e desenhistas envolvidos, sendo o coordenador do projeto o fomentador desta gestão.

Quanto ao modelo digital, cada disciplina responde por sua parte, elaborando o modelo disciplinar em ferramenta de modelagem específica. A coordenação do projeto gerencia o modelo geral (junção dos modelos disciplinares) a partir da ferramenta Navisworks. Detalhes sobre gestão de materiais, gestão do conhecimento e do próprio modelo digital podem ser vistos no item 3.1.

3.13.1. Acompanhamento e Controle do Cronograma

A periodicidade do acompanhamento e controle do cronograma é definida pelo gerente de projetos de acordo com uma norma interna ao grupo pesquisado, intitulada “Norma de Coordenação”. A aferição do avanço do modelo é realizada de acordo com as entregas a serem feitas para o cliente. Estas entregas diferem de acordo com cada disciplina, conforme representado pela Figura 67.

DISCIPLINAS	CRITÉRIO DE MEDIÇÃO CHAVES	ENTREGA PARA O CLIENTE
ARQUITETURA	Edificação	Concluída a modelagem das alvenarias, aberturas (portas e janelas), pisos, forros, cobertura, tapamento, louças, metais da edificação.
CONCRETO	INFRAESTRUTURA	Concluída a modelagem do estaqueamento, fundações direta e bloco da edificação.
	SUPERESTRUTURA	Concluída a modelagem dos pilares, vigas e lajes da edificação.
	BASE DE EQUIPAMENTO	Concluída a modelagem das bases de equipamentos na edificação
TERRAPLENAGEM	Platôs	Concluída a modelagem dos platôs
DRENAGEM	Sistemas	Concluída a modelagem da rede de coleta da água pluvial.
HIDROSANITÁRIO	Sistemas	Concluída a modelagem de cada sistema na edificação (Sistema: Água Potável, Água Reuso, Esgoto Sanitário).
METÁLICA	Edificação	Concluída a modelagem dos pilares, vigas, cobertura, tapamentos, escada, passadiços e mezaninos da edificação.
ELÉTRICA	Edificação - Distribuição de Força	Concluída a modelagem das bandejas e disposição dos eletrodutos para distribuição dos circuitos de força na edificação
	Edificação - Iluminação	Concluída a modelagem da iluminação na edificação
	Rota Principal de Cabos	Concluída a modelagem da rota principal de cabos
INSTRUMENTAÇÃO	Instrumentos	Concluída a modelagem da alocação dos instrumentos
	Edificação - Distribuição de Controle e Instrumentação	Concluída a modelagem da disposição dos eletrodutos para distribuição dos circuitos de controle e instrumentação na edificação
MECÂNICA	Equipamentos Mecânicos e Caldeirarias (taques)	Concluída a modelagem do equipamento
	Prédio em estrutura metálica	Concluída a modelagem da edificação
	Pisos e bases de equipamentos	Concluída a modelagem das Bases dos equipamentos
	Caldeirarias de transição (chutes, ca-lhas, etc)	Concluída a modelagem do equipamento
TUBULAÇÃO	Fluido	Concluída a modelagem do Fluido

Figura 67 - Entregas para o cliente a partir do modelo digital.

Fonte: arquivo técnico do grupo pesquisado

O avançamento de cada modelo da disciplina ocasionará automaticamente no avanço do modelo tridimensional de cada disciplina. Conforme periodicidade definida na Norma de Coordenação deverá existir uma reunião de apresentação/aprovação da maquete eletrônica pelo cliente.

As atividades de modelagem e extração de desenhos e documentações ocorrem de acordo com as definições dos líderes das disciplinas.

3.13.2. Validação do Cronograma pelo Engenheiro de Planejamento

A partir das definições e trabalho dos líderes de cada disciplina, o engenheiro de planejamento valida o cronograma do projeto com base na EAP definida pelo gerente do projeto em conjunto com os líderes de disciplina.

São validadas, com cada líder de disciplina e com o gerente do projeto, as atividades do cronograma, prazo de execução e entregas previstas. Após a validação de todos os envolvidos, o cronograma será apresentado ao cliente pelo gerente de projeto com o apoio do engenheiro de planejamento. A partir da aprovação pelo cliente, gera-se no cronograma a uma linha de base para referência, acompanhamento e controle do projeto.

3.13.3. Elaboração da EAP – Estrutura Analítica do Projeto

Por meio do acesso às documentações utilizadas pelo grupo pesquisado, verificou-se que, logo após a assinatura do contrato para um determinado projeto, o Gerente do Projeto (da Empresa

“A”) compõe o escopo do trabalho, usando a técnica de EAP – Estrutura Analítica do Projeto. A EAP é criada em estrutura de árvore, disposta hierarquicamente de ‘mais geral’ para ‘mais específica’, com orientação às entregas necessárias à conclusão do projeto.

O Gerente de projeto organiza, então, o trabalho necessário para realização das entregas finais do projeto ao cliente. No grupo, normalmente a EAP é estruturada pelas áreas/subáreas do projeto. Ao finalizar a EAP o gerente do projeto estabelece os “pesos” ou prioridades para representar áreas onde deverão ser dedicados maiores esforços de trabalho no projeto, de acordo com a complexidade ou em consonância com outro critério a ser adotado por ele. A Tabela 6 ilustra este estabelecimento de “pesos” para representação da utilização da mão-de-obra de projeto para cada tarefa a ser realizada.

Tabela 6 - Estipulação de pesos pelo Gerente de Projeto para diferentes tarefas de desenvolvimento do projeto.

MODELOS POR DISCIPLINA	PESO
NOME DO PROJETO	100%
ÁREA 1	60,00%
SUBÁREA 1.1 (MAQUETE 1)	60,00%
Mecânica	5%
Estrutura Metálica	25%
Tubulação	10%
Elétrica	7%
Civil Concreto	13%
ÁREA 2	40,00%
SUBÁREA 2.1 (MAQUETE 2)	18,00%
Mecânica	4,00%
Estrutura Metálica	5,00%
Tubulação	2,00%
Elétrica	3,00%
Civil Concreto	4,00%
SUBÁREA 2.2 (MAQUETE 3)	22,00%
Mecânica	8,00%
Tubulação	6,00%
Civil Concreto	8,00%

Fonte: Arquivo próprio do grupo pesquisado

3.14. Classificação das empresas pesquisadas quanto à Capacidade BIM segundo Succar (2009)

Como citado anteriormente neste trabalho, o Estágio de Capacidade BIM do grupo de empresas pesquisado foi analisado de acordo com os conceitos de Succar (2009). A seguir estão descritos os níveis e as respectivas características mínimas sugeridas pelo autor para que a empresa seja classificada naquele nível, a saber:

- i. **Estágio 1 de Capacidade BIM** – foco na modelagem paramétrica. As empresas devem possuir implantados um ou mais *softwares* de modelagem orientados a objetos;
- ii. **Estágio 2 de Capacidade BIM** – voltado à modelagem Digital. Como quesito mínimo, a(s) empresa (as) deve (m) fazer parte de projetos colaborativos baseados em um modelo multidisciplinar;
- iii. **Estágio 3 de Capacidade BIM** – voltado a integração *online* em redes. Para serem enquadradas neste nível as empresas precisam, de acordo com Succar (2009) fazer uso de solução em rede (servidor) para compartilhamento de modelos baseados em objetos paramétricos com outras disciplinas.

A Tabela 7 apresenta a compilação da classificação, por parte deste trabalho, quanto ao grupo pesquisado, de acordo com os conceitos de estágios de capacidades BIM de Succar (2009).

Tabela 7 - Compilação da Classificação do grupo pesquisado quanto ao Conceito de Estágio de Capacidade BIM de Succar (2009)

ESTÁGIO DE CAPACIDADE BIM	CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS NECESSÁRIAS	Avaliação do Grupo Pesquisado
Estágio 1	Possuir pelo menos 1 software de modelagem orientada a objetos	OK
Estágio 2	Fazer parte de projetos colaborativos baseados em um modelo multidisciplinar	OK
Estágio 3	Fazer uso de solução em rede (servidor) para compartilhamento de modelos baseados em objetos paramétricos com outras disciplinas	NÃO OK

Fonte: desenvolvido pelo autor deste trabalho

Os itens a seguir ilustram como se deu a classificação mostrada na Tabela 7.

3.14.1. Avaliação do grupo quanto ao Estágio 1 de Capacidade BIM

As empresas atendem de forma bastante satisfatória os quesitos mínimos para que sejam enquadradas, no mínimo no Estágio 1 de Capacidade BIM, pois possuem não apenas 1 (um), mas vários *softwares* de modelagem orientada a objetos conforme descrito no item 3.1.

3.14.2. Avaliação do grupo quanto ao Estágio 2 de Capacidade BIM

No que tange aos quesitos mínimos a serem enquadrados no Estágio 2, pode-se também salientar que o grupo pesquisado se enquadra nesta situação, pelo fato de as empresas buscarem ser um grupo com o objetivo de *“fazer parte de um projeto colaborativo baseado em um modelo multidisciplinar”*. Além disso, o grupo possui uma equipe inteira, focada em desenvolver projetos com um modelo único, centralizado, de forma que todas as disciplinas tenham sempre à mão as informações pertinentes e necessárias a elas, advindas de outras disciplinas.

Uma questão a ser levantada está no fato de que o modelo único, integrado por intermédio do Navisworks, englobando todas as disciplinas de projeto do grupo pesquisado, não carrega características paramétricas suficientes para o emprego de simulações do empreendimento como um todo, mas apenas geométricas, de visualização e de verificação. Por esta questão as simulações de projeto podem ocorrer apenas em nível de disciplina, não sendo possível simular o modelo integrado, o que seria ideal. Contudo os modelos parametrizados das diferentes disciplinas (Mecânica, Elétrica, Arquitetura, Estrutura Metálica, Concreto Armado/Protendido, Hidrossanitário, Pavimentação, Instrumentação e Tubulações) podem se comunicar entre si utilizando-se por meio de formatos proprietários ou tradutores específicos, criados para este fim, como é o caso do MEX.

Destaca-se ainda o importante papel do MEX no sentido de propiciar efetiva colaboração, mesmo que individualizada, entre automação de projeto e as especialidades de projeto. Essa colaboração ocorre ao passo que a ferramenta dá suporte às tarefas de especificações de materiais, à criação e fornecimento de famílias de objetos paramétricos aos softwares de modelagem e à tradução de modelos digitais entre os vários diferentes softwares utilizados, por meio da ferramenta MEX3D.

De acordo com os entrevistados a utilização do modelo tridimensional, orientado a objetos, em cada uma das disciplinas, é uma escolha do grupo ao se desenvolverem projetos de Engenharia. Mesmo em casos em que o cliente não solicita o projeto 3D, este é desenvolvido. Segundo a

gerência de projetos do grupo pesquisado, essa é uma questão de estratégia no desenvolvimento de projetos, que possibilita a verificação de interferências e eliminação de vários problemas que poderiam ir para o canteiro de obras caso os projetos fossem desenvolvidos na forma tradicional (2D).

3.14.3. Avaliação do grupo quanto ao Estágio 3 de Capacidade BIM

Como supracitado, para que as empresas fossem enquadradas no Estágio 3 de Capacidade BIM, de acordo com Succar (2009) elas precisariam fazer uso de solução em rede (servidor) para compartilhamento de modelos baseados em objetos paramétricos com outras disciplinas. Pode-se notar que isso é um passo muito mais além do que o Estágio 2 (trabalho colaborativo em um modelo), onde o usual é cada projetista fazer sua tarefa e depois disponibilizar o modelo disciplinar atualizado para o grupo.

O terceiro estágio de capacidade BIM sugere utilização de servidores que possibilitem o compartilhamento de modelos que carregam propriedades paramétricas e não apenas modelos para visualização ou verificações.

Segundo o Gerente da Disciplina de Automação de Projetos (AP) da Empresa “B” “o grupo possui vários servidores para utilização nos projetos, tanto servidores para armazenamento de arquivos, quanto de banco de dados (SQL Server e Oracle), com as devidas rotinas de backup e análises de DBA – *Database Administration* - para desempenho. Todos os projetos do grupo pesquisado, segundo o gerente, são elaborados em ambiente de rede”.

Essa afirmação do gerente de AP, contudo, aponta para algo que está sendo usado em rede, mas não de forma colaborativa (e integrada) em rede. Isto é, existe a possibilidade de ser usado o ambiente em rede para desenvolvimento do projeto de "forma colaborativa *online*", mas as empresas ainda não têm a cultura ou os procedimentos para tal integração. O grupo apresenta condições de realizar as atividades de forma colaborativa e integrada - integração do trabalho via modelo – por meio do ambiente de redes propiciado, incluindo modelo BIM federado ou outra opção e mecanismos de gestão bastante evoluídos quanto ao trabalho nas etapas de projeto. Todavia, no momento as empresas apresentam características mais marcantes de **Capacidade BIM Estágio 2**.

3.15. Classificação das empresas pesquisadas quanto a Paradigmas BIM de acordo com Taylor e Bernstein (2009)

Procurou-se aqui fazer uma comparação entre a modelagem paramétrica (BIM ou industrial) realizada pelo grupo pesquisado e o conceito de paradigma BIM identificados por Taylor e Bernstein (2009) nas empresas pesquisadas pelos autores. A classificação foi realizada analisando-se o conceito de cada paradigma citado pelos autores e comparando-o às características de modelagem das empresas pesquisadas, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Identificação do Nível ou Paradigma BIM em que o grupo pesquisado se encontra de acordo com os conceitos de Taylor e Bernstein (2009)

PARADIGMAS BIM	CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS PARA ENQUADRAMENTO NO PARADIGMA BIM EM QUESTÃO	ENQUADRAMENTO DO GRUPO NO PARADIGMA	OBSERVAÇÕES
VISUALIZAÇÃO	Utilização do BIM simplesmente para entendimento e representação 3D das características de uma instalação	SE ENQUADRA	Atendem Plenamente
COORDENAÇÃO	Utilização do BIM para avaliação da relação de interferências e conexões entre as partes da construção, bem como para produção de desenhos ortográficos coordenados. O aumento da troca de arquivos requer resolução da questão da interoperabilidade	SE ENQUADRA PARCIALMENTE	Atendem parcialmente. Existe ainda o problema de escassez de interoperabilidade de padrão aberto
ANÁLISE	Utilização da representação BIM para avaliar o desempenho da edificação	NÃO SE ENQUADRA	Só realizam avaliações de desempenho por disciplinas; e não do modelo como um todo (ou da edificação)
INTEGRAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	Envolve o compartilhamento de dados BIM na cadeia de suprimentos, bem como a reconfiguração do processo de colaboração entre os agentes; como resposta a uma abordagem de modelagem muito mais integrada.	NÃO SE ENQUADRA	Não atendem. Não há compartilhamento de dados BIM na cadeia, mas apenas entre as equipes de projeto

Fonte: desenvolvido pelo autor deste trabalho

3.15.1. Classificação das empresas quanto em Nível de Visualização

Este seria o primeiro paradigma a ser enfrentado pelas empresas, segundo Taylor e Bernstein (2009). Neste nível, os autores mostram os envolvidos utilizam o BIM na equipe de projeto simplesmente para entendimento e representação tridimensional das características de uma instalação.

O grupo pesquisado mostrou ter trilhado este nível, uma vez que os envolvidos no processo de projeto conseguem obter o entendimento e a representação de suas instalações; tanto via modelo disciplinar (pelos *softwares* de modelagem paramétrica) quanto via modelo geral (via Navisworks).

3.15.2. Classificação das empresas quanto em Nível de Coordenação

Para se enquadrarem neste nível (Coordenação) os autores citam, como premissas, realização, por parte das empresas, de atividades de avaliação da relação de interferências interdisciplinares e conexões entre as partes que compõem as instalações; bem como a produção de desenhos ortográficos coordenados do projeto; sendo que o aumento da troca de arquivos eletrônicos requer das empresas a resolução da questão da interoperabilidade tecnológica.

Salienta-se, aqui, que o grupo pesquisado possui características de se encontrar neste estágio ou paradigma. Por meio do modelo 3D, único, não parametrizado, as empresas executam, pela ferramenta NavisWorks, verificação de interferências e das conexões das instalações. As empresas também contam com modelos parametrizados por disciplina, fazendo uso de ferramentas de modelagem de diversos desenvolvedores de *softwares*.

Quanto à troca de dados entre as diferentes disciplinas o grupo tem buscado resolver o problema da interoperabilidade entre as ferramentas, e, de certa tem conseguido mitigar essa questão, mas, realiza ainda trocas de dados com características de padrão proprietário. O grupo busca trabalhar com *softwares* que atendam às suas necessidades e que sejam interoperáveis. Quando isso não é possível, o grupo trabalha com ferramentas de um único desenvolvedor, por exemplo, a Autodesk, uma vez que, segundo os pesquisados a Autodesk disponibiliza *softwares* com preços mais acessíveis no mercado. Ainda não se resolvendo o problema da interoperabilidade as empresas lançam mão da ferramenta de gestão de materiais, o MEX, por meio do qual o grupo desenvolve famílias de objetos paramétricos para diferentes plataformas e ainda “traduzem” alguns objetos de uma plataforma X para outra, Y. Salienta-se, no entanto, que esta solução restrita a empresas que possuam os direitos de utilização da ferramenta específica MEX, ou seja, uma interoperabilidade padrão-proprietário, conforme citado por Eastman *et al.* (2008) e BIM Task Group (2011).

Apenas entre alguns *softwares* as empresas conseguem fazer trocas de arquivos utilizando-se extensões de padrão aberto, que seria o formato SDNF - Eastman *et al.* (2008) - entre os *softwares* de estrutura metálica, como pode ser visto no fluxograma da Figura 61.

Como a grande maioria das trocas de informações entre ferramentas utilizadas pelo grupo ocorre por meio de padrões proprietários, salienta-se que o problema da interoperabilidade não está completamente resolvido pelas empresas. O grupo pesquisado pode ainda melhorar seu processo por meio de soluções de padrão aberto, com vistas a um modelo único, parametrizado, com trabalho colaborativo e integrado entre as diferentes disciplinas de projeto, tanto quanto à tecnologia BIM quanto à composição paramétrica de modelos de edificações e instalações industriais.

3.15.3. Classificação das empresas quanto em Nível de Análise

Para que tivessem trilhando por este nível, as empresas pesquisadas deveriam estar fazendo uso da representação BIM ou de modelagem paramétrica para avaliar o desempenho da edificação como um todo.

O grupo não mostra estar trabalhando neste nível, uma vez que as análises e simulações desenvolvidas são pontuais, apenas por disciplinas, não englobando todo o modelo das edificações ou instalações. Vale salientar que simulações do modelo como um todo requerem um modelo integrado parametrizado e não com características puramente geométricas, como é o caso do modelo único elaborado pelo grupo pesquisado.

3.15.4. Classificação das empresas quanto em Nível de Integração da Cadeia de Suprimentos

O fato de as empresas envolverem os fabricantes de materiais e equipamentos nas fases iniciais do processo de projeto, pode indicar algo nesta direção de integrar a cadeia de suprimento, mas está longe de atender as características traçados por Taylor e Bernstein (2009) para empresas que se enquadram neste nível, pois as empresas, não envolvem ou compartilham dados BIM na cadeia de suprimentos.

Apesar de seu potencial, o grupo pesquisado ainda precisaria fazer uma reconfiguração do processo de colaboração entre os agentes; como resposta a uma abordagem de modelagem muito mais integrada. Uma opção seria o desenvolvimento de um modelo único, parametrizado, onde as atividades são realizadas não apenas colaborativa, mas também integrada, via ambiente propiciado de redes, incluindo modelo BIM (ou de modelagem paramétrica industrial) federado.

3.16. Análise do Trabalho Colaborativo das empresas pesquisadas

Constatou-se que uma das estratégias de gestão do trabalho colaborativo entre as diversas disciplinas está na questão do espaço de trabalho utilizado pelos profissionais para elaboração dos projetos. Todas as equipes envolvidas no projeto ficam alocadas em um único edifício. Esta condição permanece durante todo o período de desenvolvimento do projeto em questão. Esse fato auxilia a colaboração entre os diferentes agentes do processo de projeto (*design*), uma vez que a variável *distância* é suprimida ou eliminada. Utilizando-se desta proximidade física entre os agentes, o grupo encontra facilidades na realização frequente de reuniões – que ocorrem normalmente uma vez por semana - entre o coordenador do projeto, os líderes das disciplinas, os engenheiros, a equipe de automação de projetos e especificação de materiais, os projetistas e desenhistas. Esses encontros e discussões, principalmente em se tratando de encontros de revisão do projeto, são fatores importantes para o desenvolvimento de projetos pelas diferentes disciplinas, nas diferentes fases de desenvolvimento do projeto.

Outro fator determinante para o sucesso na colaboração refere-se à constatação de que as equipes de projetos trabalham de forma dedicada a determinada edificação industrial. Fato este que não é comum na construção civil pelo fato dos projetistas trabalharem em diversos projetos simultaneamente e que, de acordo com diversos autores, é um grande entrave para a melhoria da qualidade dos projetos em AEC.

A ferramenta de gestão dos materiais (intitulada MEX – *Material Explorer*) mostrou também proporcionar ao grupo pesquisado um ambiente colaborativo de trabalho, ao passo que suporta a padronização de materiais de Engenharia e a montagem de especificações técnicas de projeto, em um ambiente único, centralizado, atualizado e integrado. Esse ambiente de trabalho fornece às ferramentas de modelagem 3D informações técnicas (especificações de material e de geometria) como apoio à composição do modelo disciplinar. O MEX ainda controla extrações e revisões de listas de materiais; diretamente dos modelos disciplinares ou do modelo geral. As listas de materiais podem ser extraídas por quantitativos totais, por disciplina ou por tipo de material, fornecendo ao setor de compras diferentes opções de listas com descritivos detalhados.

Em relação à modelagem, a colaboração entre os diferentes agentes ocorre no ato em que cada modelo disciplinar é disponibilizado às demais disciplinas de projeto por meio de um servidor, onde os vários modelos são integrados pela ferramenta de gestão Navisworks. Uma vez integrados os modelos, questões de interferências construtivas são discutidas (no modelo único) e sanadas no modelo da disciplina. Esse trabalho colaborativo interdisciplinar, de acordo com os

entrevistados, se mostra importantíssimo na compilação de um modelo com o máximo de pendências geométricas resolvidas, evitando retrabalhos, perdas de tempo e desperdícios de materiais no *site*.

3.17. Interoperabilidade entre ferramentas utilizadas pelo grupo

A troca de dados entre ferramentas BIM ou de modelagem industrial orientada a objetos, utilizadas pelo grupo pesquisado - Figura 61 – ocorre em pequena parte por meio de padrões abertos de linguagem computacional (SDNF, por exemplo). A grande maioria desse compartilhamento, no entanto, é feita por meio de links diretos, linguagens de padrão proprietário ou ferramenta de "tradução" entre duas aplicações – caso do MEX. Essa face (interoperabilidade) utilizada pelo grupo é identificada pelo BIM Task Group (2011) como pBIM (ou BIM proprietário); termo que se refere a integrações com base em interfaces proprietárias ou mediações entre diferentes plataformas utilizando-se *softwares* específicos, desenvolvidos para este único fim.

O consultor técnico em Automação de Projetos Industriais informou que a não utilização de padrões abertos entre os *softwares* de modelagem paramétrica (como CIS/2 e IFC) ocorre pelo fato dessas normas "*não atenderem suas necessidades de projeto ao passo que são lentas em resolver questões pendentes voltadas à interoperabilidade*". Além disso, segundo o entrevistado, não existe um padrão aberto que englobe toda a modelagem de que eles utilizam, pois os projetos desenvolvidos pelo grupo englobam disciplinas do setor AEC e de outras indústrias, como mecânica, tubulações e elétrica industrial. Dessa forma, segundo o entrevistado, a utilização de *softwares* interoperáveis entre si são preferíveis, mesmo que a troca de dados entre eles ocorra em formatos de padrão proprietário. Quando isso não é possível a questão da interoperabilidade é resolvida por meio de interfaces desenvolvidas para este fim, como é o caso do MEX – Material Explorer – criado pela própria Empresa "B".

O modelo digital parametrizado elaborado pelo grupo é compartilhado entre as todas as disciplinas, seja por links diretos, interoperabilidade de padrão proprietário ou via MEX3D, conforme salientado no item 3.6. O modelo integrado, alimentado com informações geométricas não parametrizadas de todas as disciplinas ocorre apenas para efeito de visualização e verificação de interferências, por meio do *software* Navisworks.

3.18. Análise de atividades de projetos do grupo pesquisado quanto ao conceito de Projeto Simultâneo

O grupo foi também avaliado quanto aos pilares do conceito de Projeto Simultâneo de Fabrício *et al.* (1998) e Fabrício (2002). Segundo os autores este conceito está suportado por: (i) desenvolvimento paralelo das diferentes etapas do processo de desenvolvimento do produto; (ii) formação de equipes multidisciplinares, formadas por diferentes agentes do processo de produção, que possuam visões integradas; (iii) estímulo à interatividade entre os agentes das equipes multidisciplinares, enfatizando o papel do coordenador de projetos como fomentador do processo; e (iv) foco marcante na transformação das aspirações e necessidades do cliente final em especificações de projeto. Essa avaliação está descrita nos itens que se seguem.

3.18.1. Avaliação do grupo quanto à sequência das "etapas" e atividades de elaboração do projeto

Pôde-se notar que, no grupo pesquisado, as principais fases ou etapas de projeto (conceitual, básico e detalhado) possuem uma característica sequencial no processo de elaboração do projeto (ver Figura 25supracitada), sem relação direta com o modelo de Projeto Simultâneo de Fabrício *et al.* (1998) e Fabrício (2002). Contudo, ao se dividirem essas fases nas várias atividades desempenhadas pelas equipes de projeto, pôde-se notar a presença de simultaneidade entre as tarefas realizadas por diferentes disciplinas em uma mesma fase de projeto. Cita-se, como exemplo, que tarefas de produção de diagramas e fluxogramas são realizadas pela disciplina de Processo (KP) paralelamente a tarefas de distribuição espacial dos equipamentos pela disciplina Mecânica Industrial (MM), em cada uma das três fases de projeto supracitadas. Outro exemplo de simultaneidade ocorre entre tarefas de modelagem do projeto detalhado pelas disciplinas de Terraplanagem, Concreto, Estrutura Metálica, Elétrica, Tubulações, Instrumentação e Arquitetura, entre o oitavo e novo mês do projeto modelo adotado (ver Figura 26do item 3.3).

Além disso, há características de paralelismos entre as fases de gestão (modelo único, gestão de materiais) e o projeto detalhado no sexto mês do projeto modelo (ver Figura 25do item 3.3). Algumas simulações e/ou análises também são realizadas concomitantemente à fase de projeto detalhado.

Pode-se salientar que o grupo de empresas ainda não possui paralelismo entre as fases tradicionais de projeto, mas apenas em fases advindas da implementação dos sistemas BIM ou inerentes à gestão do processo de projeto.

Esse fato pode indicar que o conceito BIM ou a modelagem paramétrica não tem englobado todo o ciclo de projeto nas empresas, mas apenas o tem influenciado; alterando e acrescentando algumas etapas deste.

Um fato que indica que o conceito BIM não tenha abrangido completamente o ciclo de projeto nas empresas pode ser visualizado na Figura 61 onde atividades específicas do projeto conceitual/básico - da disciplina de Arquitetura – ainda são desenvolvidas com o auxílio parcial do AutoCAD bidimensional.

3.18.2. Avaliação do grupo quanto à formação de equipes multidisciplinares com visões integradas

O grupo pesquisado demonstrou atender este segundo conceito de Projeto Simultâneo. O grupo é formado por diferentes disciplinas de projetos, formadas por agentes do setor AEC (como arquitetura, estruturas metálicas e de concreto armado, etc.) e de outras indústrias (como Mecânica, Processo, Tubulações e Elétrica Industrial, etc.); trabalhando colaborativamente com o objetivo comum de compilar-se um modelo 3D integrado. Além disso, outros agentes do processo produtivo como clientes, fornecedores de materiais e de equipamentos integram-se à equipe de projeto desde as fases iniciais do processo, com vistas ao desenvolvimento de um modelo que represente as instalações ou construções industriais pretendidas.

3.18.3. Avaliação do grupo quanto à interatividade entre os agentes com ênfase no papel do coordenador de projetos

Foi verificado, durante as entrevistas, que o grupo utiliza, como forma de integração física das equipes de projeto, um edifício único. Em casos específicos, a principal empresa de projetos (Empresa "A") contrata projetistas de empresas externas (por exemplo, as empresas "C" e "D" desta pesquisa) e os "traz" para o seu próprio estabelecimento, para que haja uma proximidade física entre os diferentes agentes do processo de projeto. Esse fato facilita a gestão das equipes que compõem o grupo. Reuniões semanais (ou a "qualquer momento") são realizadas durante a elaboração de projetos, entre o coordenador do projeto, líderes de disciplinas, engenheiros, projetistas e desenhistas envolvidos. O fomentador desta gestão é sempre o coordenador do projeto.

3.18.4. Avaliação do grupo ao foco na transformação das necessidades do cliente em especificações de projeto

Por meio da modelagem 3D paramétrica disciplinar, o grupo busca traduzir as aspirações e escopo do cliente final (briefing de projeto), com especificações de materiais e do processo ou lógica da planta industrial. As necessidades do cliente são estudadas e atendidas. Um exemplo disso é que, na fase de concepção do projeto (mais especificamente no estudo de viabilidade) as equipes que estarão presentes na elaboração dos projetos industriais, buscam junto à cadeia de suprimentos, materiais e equipamentos que possam atender às demandas e solicitações do cliente final. Somente após esse estudo inicia-se a projeção propriamente dita.

A Tabela 9 ilustra a compilação da análise da elaboração de projetos pelo grupo pesquisado com base nos pilares do Projeto Simultâneo, segundo Fabrício *et al.* (1998) e Fabrício (2002).

Tabela 9 – Análise do grupo pesquisado quanto ao atendimento ou adequação aos pilares do conceito de Projeto Simultâneo de Fabrício *et al.* (1998).

Pilares do Projeto Simultâneo	Avaliação do Grupo Pesquisado	Observações
Desenvolvimento paralelo das diferentes etapas do processo de desenvolvimento do produto	Atende parcialmente	Desenvolvimento sequencial das fases de projeto conceitual, básico e detalhado. Contudo há paralelismo entre diferentes atividades dentro de uma mesma fase de projeto. Há simultaneidade entre fases de gestão e o projeto detalhado
Formação de equipes multidisciplinares, formadas por diferentes agentes do processo de produção, que possuam visões integradas	Atende	O grupo possui diferentes disciplinas de projeto formadas por agentes do setor AEC e de outras indústrias com o objetivo comum de compilar-se um modelo único 3D de projetos industriais. Às equipes de projeto, integram-se agentes do processo produtivo (cliente, fornecedores de materiais e equipamentos, etc.) desde as fases iniciais do processo
Estímulo à interatividade entre os agentes das equipes multidisciplinares, enfatizando o papel do coordenador de projetos como fomentador do processo	Atende	Além do grupo utilizar o mesmo edifício para integração física das equipes, reuniões semanais são realizadas durante a elaboração de projetos, entre o coordenador do projeto, líderes de disciplinas, engenheiros, projetistas envolvidos
Foco marcante na transformação das aspirações e necessidades do cliente final em especificações de projeto	Atende	Através da modelagem 3D paramétrica o grupo busca traduzir o escopo do cliente em um modelo único, com especificações de materiais e do processo ou lógica da planta industrial

Fonte: desenvolvido pelo autor deste trabalho

3.19. Dificuldades enfrentadas pelo grupo pesquisado

De acordo com o coordenador da Disciplina de Automação de Projetos na Empresa “B”, o grupo de empresas pesquisadas tem encontrado certa dificuldade na Gestão Eletrônica de Documentação (GED) para modelos BIM ou modelos paramétricos, uma vez que os fornecedores destes sistemas colaborativos não são largamente divulgados no Brasil. Outra dificuldade levantada pelo coordenador é a dificuldade na forma de se mensurar os valores de venda dos serviços de modelagem paramétrica. Atualmente este serviço é mensurado por meio da medição do avançamento da modelagem 3D, ou seja, pela evolução do edifício virtual.

O grupo possui diversos servidores para armazenamento de arquivos, como também um banco de dados (SQL Server e Oracle), com rotinas de backup e análises de DBA – *Database Administration* - para desempenho, de modo que todos os projetos do grupo pesquisado sejam gerenciados em rede. Contudo, essa gestão de documentação não é colaborativa (e integrada) online. Isto é, existe a possibilidade de ser usado o ambiente em rede para desenvolvimento do projeto de "forma colaborativa *online*", mas as empresas ainda não têm a cultura ou os procedimentos para tal integração. O grupo apresenta condições de realizar as atividades de forma colaborativa e integrada - integração do trabalho via modelo – via ambiente de redes propiciado. Isso incluiria o modelo BIM federado e mecanismos de gestão bastante evoluídos quanto ao trabalho nas etapas de projeto, fato que poderia facilitar a gestão eletrônica de documentação do grupo pesquisado. Contudo, esse "passo" ainda não foi concretizado pelo grupo pesquisado.

4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta investigação buscou analisar a modelagem da informação industrial e da construção civil em processos de projetos industriais de um grupo de empresas de Belo Horizonte. A análise se insere nos conceitos de BIM (*Building Information Modeling*) aplicado a construções industriais, enfocando temas de gestão do processo de projeto (*design*) e de tecnologias da informação aplicadas à construção que possam contribuir para a discussão crítica sobre projetos de edificações e instalações industriais. Por fim foram realizadas considerações sobre temas como interoperabilidade entre ferramentas de modelagem de diferentes indústrias; gestão de materiais; colaboração interdisciplinar e aplicação do BIM em projetos industriais; particularidades e contribuições de processos de outras indústrias ao setor AEC; gestão e fases de projetos industriais; harmonizações normativas e tecnológicas entre diferentes indústrias e o compartilhamento de informações de modelagem paramétrica no contexto estudado.

4.1. A Interoperabilidade na Prática

Verificou-se, no caso específico dos projetos industriais desenvolvidos pelas empresas pesquisadas, que soluções proprietárias ou links diretos para a troca de informações entre diferentes aplicações são preferíveis, apesar dos usuários afirmarem conhecer a existência de padrões abertos ou públicos relacionados ao tema, como o CIS/2, a ISO-15926 e o IFC. Notou-se que a escolha dessas empresas por esses padrões de trocas de dados pode ocorrer em função da lentidão dos padrões públicos em resolverem questões pendentes voltados à interoperabilidade.

Contudo, empresas projetistas sem recursos para investir em padrões próprios de interoperabilidade e que, portanto, farão uso de padrões proprietários, ou de links diretos, podem se tornar prisioneiras de empresas desenvolvedoras de softwares constituindo práticas que tendem a monopolizar os mercados. Além disso, a compilação desse tipo de troca de dados exige mão-de-obra especializada e muitas vezes custos elevados, fatos que conferem exclusividade BIM às empresas que o utilizam. Se por um lado, os padrões proprietários são uma saída à falta de padrões públicos eficientes, por outro lado, inviabilizam ou excluem pequenas empresas do uso das novas tecnologias pela impossibilidade de acesso a esses padrões exclusivos. Nessa direção, faz-se necessária a participação das universidades e do setor público na promoção de parcerias com o setor privado visando o desenvolvimento de padrões públicos para a disseminação do conhecimento na área.

Essa escolha do grupo pesquisado pelos padrões proprietários pode ser justificada por Eastman *et al.* (2008), que mostram que enquanto alguns afirmam que o IFC e as normas públicas são a única solução para a interoperabilidade entre ferramentas BIM, outros dizem preferir os padrões proprietários. Outro fator preponderante na escolha das empresas pelos padrões proprietários de interoperabilidade está na questão das sobreposições normativas interindustriais não harmonizadas pelos padrões públicos internacionais.

Salienta-se que, enquanto os esforços de harmonização dessas questões pendentes de sobreposições normativas e tecnológicas não obtiverem êxito, as empresas que desenvolvem projetos nessas áreas sobrepostas não terão outra escolha senão solucionarem a questão da falta interoperabilidade por meio de soluções proprietárias.

Diante desse cenário, as empresas pesquisadas têm buscado resolver a questão da interoperabilidade entre ferramentas utilizadas - BIM e de Modelagem Paramétrica Industrial. As trocas de informações ocorrem por meio de *links* diretos (interface entre softwares específicos) ou por intermédio de padrões proprietários – entre softwares desenvolvidos por uma única companhia. Em casos de necessidade de compartilhamento de informações entre aplicações não interoperáveis, o grupo pesquisado abre mão da aplicação MEX, que possui ferramenta voltada a esse fim. Dessa forma os modelos paramétricos disciplinares podem ser criados e compartilhados entre as diferentes disciplinas de projeto que precisam se comunicar.

No grupo pesquisado, o único caso de trocas de informações por formato neutro ocorre entre os *softwares* de estruturas metálicas, SAP2000 e Revit *Structure*, que utilizam o formato SDNF – *Steel Detailing Neutral Format* - para se comunicarem nas fases de projeto Básico e Detalhado. As informações são compartilhadas entre o modelo estrutural (do Revit) e o cálculo e dimensionamento (SAP 2000).

Essa mescla entre utilização de formatos neutros e proprietários pelo grupo pesquisado vai ao encontro das afirmações de Eastman *et al.* (2008), os quais explicam que soluções públicas e proprietárias de interoperabilidade podem sempre coexistir, sendo os envolvidos os atores ou responsáveis por esta decisão. Para os autores, os desejos de proprietários e usuários irão sempre prevalecer a respeito desta decisão.

Os resultados mostram que objetos paramétricos criados no *software* de gestão (MEX) - desenvolvido pelo grupo pesquisado - são importados e exportados pelas ferramentas de modelagem paramétrica como o Plant 3D (da Autodesk), o PDMS (da Aveva), dentre outras. O

MEX utiliza parâmetros em consonância com o modelo matemático de geometria do *software* receptor que reconhece o objeto como se lhe fosse próprio ou nativo.

Mesclando diferentes tipos de trocas de dados (links diretos, padrões proprietários e um padrão público - SDNF) o grupo pesquisado promove interoperabilidade na elaboração dos projetos industriais. Em relação à troca de dados entre softwares utilizados para modelagem 3D em uma mesma disciplina (modelo disciplinar), a interoperabilidade, nas fases de projeto básico e detalhado, é realizada com êxito por todas as disciplinas, a saber, Mecânica, Tubulações, Elétrica, Arquitetura, Estrutura Metálica, Concreto Armado, Hidrossanitário, Drenagem, Automação e Terraplanagem. Uma ponderação a ser feita, no entanto, é que o detalhamento dos projetos de Estruturas Metálicas e Concreto Armado é realizado com auxílio do AutoCAD 2D, sendo esta ferramenta e formato não condizentes com os conceitos BIM ou de modelagem paramétrica. A interoperabilidade interdisciplinar dos modelos 3D parametrizados pode sempre ocorrer via Revit entre todas as disciplinas, com exceção de Tubulações (HT) e Terraplanagem que não adotam esta ferramenta para composição de seus modelos. O modelo 3D dessas disciplinas, no entanto, pode ser integrado aos outros modelos da família Revit por meio dos softwares Plant 3D e Civil 3D, respectivamente, no formato DWG. O modelo geométrico (não parametrizado) é interoperável entre todas as disciplinas de projeto que, integradas, formam o modelo único. Por fim, o MEX propicia a gestão dos materiais para a maioria das disciplinas, com exceção de Concreto e Terraplanagem.

4.2. Gestão Preventiva de Materiais pelo Grupo Pesquisado

Por meio do banco de dados do MEX especificações de materiais são desenvolvidas, com informações reais e atuais alinhadas à rede de fornecedores. Com essas informações, criam-se, pelo MEX, objetos paramétricos de materiais que podem ser exportadas aos *softwares* de modelagem ou compartilhados entre dois *softwares* específicos via MEX. Mediante esta ferramenta de gestão, convertem-se especificações de materiais de Engenharia em algoritmos. Esses dados são enviados aos *softwares* de modelagem como informações geométricas para elaboração do modelo 3D parametrizado. Compilado o modelo paramétrico, listas de materiais podem ser extraídas, pelo MEX, dos *softwares* de modelagem. Nesse sentido pode-se inferir que o grupo pesquisado tem desenvolvido tecnologias de informação ao passo que elaboram e gerenciam projetos de Engenharia.

Como mostrado nos resultados, ainda da fase de modelagem as empresas pesquisadas realizam, via MEX, um controle dos materiais que serão utilizados no projeto, por tipo e por quantidade. Em função desse controle os projetistas possuem disponíveis no banco de dados de seus *softwares* de modelagem tão somente os objetos paramétricos dos materiais que realmente serão utilizados na obra. Essa metodologia inibe improvisações e mitiga erros em projetos. Vale ressaltar que essa gestão preventiva de materiais, na fase de projeto (*design*), pode representar significativo ganho no controle de materiais que serão enviados à obra, contribuindo para a redução de desperdícios, de retrabalhos e erros de execução.

Em relação ao MEX, uma ressalva importante a ser feita é que a produção de bibliotecas de objetos paramétricos por meio dessa ferramenta guarda características de trabalhos não colaborativos entre instituições. Ou seja, não existe um banco de dados comum, de padrão aberto a diferentes grupos. Com isso a interoperabilidade entre ferramentas BIM, ou de modelagem paramétrica, fica restrita a empresas que possuam os direitos de utilização do software, ou seja, uma interoperabilidade padrão-proprietário, conforme Eastman *et al.* (2008). Pondera-se, entretanto, neste caso, que se trata de uma questão de mercado, sendo essas soluções um produto das empresas pesquisadas, com todos os seus direitos reservados, o que é uma opção do grupo.

4.3. Colaboração entre equipes para desenvolvimento do processo de projeto (design)

Verificou-se que a equipe de coordenação do processo de projetos do grupo pesquisado, busca nas fases iniciais do processo, envolver todos os *stakeholders* do empreendimento. No início da fase de projeção o grupo realiza reuniões periódicas entre os principais membros das organizações com papel significativo no processo de projeto com a finalidade de iniciar preventivamente o planejamento e a comunicação direta entre as equipes ligadas ao empreendimento; estratégia que vai ao encontro do objetivo do protocolo internacional BIM *Project Execution Planning Guide* do *buildingSMART alliance* (bSa), segundo o CIC (2011).

De acordo com os entrevistados, as empresas buscam estimular o *know-how* técnico de cada profissional, desde as fases iniciais do processo. Em casos de profissionais preferem desenvolver projetos de forma isolada, os gestores dizem se empenhar no sentido de conscientizá-los a utilizar todo o seu conhecimento técnico e sua forma particular de trabalho, com a condição de que atendam as necessidades da coordenação e escopo do projeto, de forma colaborativa. Com essa postura os gestores afirmam que incentivam esses profissionais de projeto a empenharem na colaboração com a equipe, a começar pela mudança de postura nas formas de trabalho.

4.4. Vantagens trazidas da Modelagem Paramétrica Industrial à modelagem BIM

Neste estudo, percebeu-se que o uso simultâneo de ferramentas BIM (como o Revit) e de modelagem paramétrica industrial (como Inventor, PDMS, Solidworks, etc.), em dado projeto de Engenharia Industrial, pode ser um indutor ao uso de novas tecnologias para o setor de AEC, na medida em que a indústria da construção tem, sistematicamente, desenvolvido projetos mais complexos.

Constatou-se que o envolvimento de muitas especialidades e equipamentos de custo elevado em projetos industriais dos setores petrolífero, siderúrgico e de Mineração (por exemplo), contribui para que esses setores sejam bastante exigentes em relação à qualidade do projeto. Essa exigência ocorre principalmente no que tange à representatividade do empreendimento, que necessariamente conta com o apoio de uma gama de sistemas computacionais - muitas vezes desconhecidos pela Construção Civil - para desenvolvimento de modelos digitais.

Neste contexto a modelagem é considerada pelas indústrias (contratantes) como uma pré-montagem industrial, ou seja, busca-se, no modelo, simular, o mais próximo possível a alocação de todas as instalações que estarão presentes na planta industrial. Diante dessa visão dos contratantes, os projetistas têm o desafio de elaborarem modelos que atendam as expectativas do cliente, utilizando-se, para isso, diversos sistemas computacionais avançados, na compilação de um modelo interoperável - entre as diferentes ferramentas utilizadas - e acessível a todos os profissionais envolvidos. Salienta-se que essa cultura de valorização a qualidade do projeto por parte dessas indústrias traz estímulos e bons exemplos ao setor da construção (AEC).

Como forma de representar as instalações industriais a serem montadas as empresas de projeto desenvolvem, em cada disciplina, um modelo virtual parametrizado utilizando-se ferramentas BIM e de modelagem paramétrica industrial. A soma desses modelos representa o empreendimento proposto. A troca de informações requerida entre eles é realizada, na maioria dos casos, por meio de linguagens de padrão proprietário. Um exemplo disso ocorre quando o modelo do projeto detalhado é compilado em ferramentas Autodesk, interoperáveis entre si, como Inventor e o Revit. Em casos onde não existe compartilhamento interdisciplinar de entidades paramétricas, o modelo para visualização e verificação de interferências, compilado no Navisworks, possibilita a integração do modelo digital. Este fato pode ser verificado no item 3.5.

4.5. Utilização do BIM em projetos Industriais

O contraponto da aplicação da tecnologia BIM em projetos de edifícios e instalações de outras indústrias se justifica uma vez que a filosofia de gestão do processo de projeto (FABRÍCIO, 2002) e as ferramentas BIM desenvolvidas para a indústria da construção civil (EASTMAN *et al.*, 2008) derivam de práticas desenvolvidas e consolidadas em outras indústrias.

A utilização da modelagem paramétrica por parte de outras indústrias para desenvolver suas próprias representações de objetos e para refletir conhecimento corporativo e melhores práticas é citada por Eastman *et al.* (2011). Os autores mostram que, por uma questão lógica, ferramentas de modelagem paramétrica da disciplina de Mecânica Industrial já foram adotadas pelo setor AEC. O Digital Project, baseado no CATIA, é um exemplo óbvio disso; assim como a ferramenta Structureworks – ferramenta de detalhamento de concreto pré-moldado – é baseada no Solidworks. Em outras áreas, como tubulações, fachadas e projetos de dutos em geral, segundo os autores, pode-se ver ferramentas de modelagem paramétrica de Engenharia Mecânica e ferramentas BIM - no nível de projeto e fabricação - ambas disputando o mesmo mercado.

Neste âmbito (como é o caso do grupo pesquisado) a questão de interoperabilidade entre ferramentas de elaboração de modelos orientados a objetos se torna mais desafiador, pois a modelagem, em contextos como esse, precisa abranger não apenas o setor AEC (ao qual o BIM se destina), mas também disciplinas de outras indústrias. Ou seja, há necessidade de se reunir uma equipe de trabalho que, desejavelmente, desenvolva projetos industriais de forma colaborativa e integrada, com objetivos comuns, utilizando-se, para isso, de ferramentas BIM e de modelagem industrial parametrizada, de preferência interoperáveis entre si.

4.6. Particularidades dos Projetos Construtivos Industriais

A elaboração projetos de construção de empreendimentos industriais envolve diferentes disciplinas, mescladas entre a Construção Civil e outros setores, como a Indústria Manufatureira, Indústrias de Petroquímicas, de Mineração, de Siderurgia, etc. Por essa questão, o desenvolvimento de modelos digitais de representação desse tipo de empreendimento, que queiram envolver a integração interdisciplinar de modelagem 3D precisa, obrigatoriamente, englobar ambas as áreas, suas particularidades e requisitos normativos, inclusive questões de interoperabilidade entre ferramentas de modelagem paramétrica de ambas as indústrias.

Isso não quer dizer que a indústria da construção civil precisaria se fundir com as demais para possibilitar a elaboração de projetos industriais. Contudo, em se tratando de projetos construtivos com este fim, existem certas interdependências (ou interfaces) entre essas áreas que o setor AEC precisa considerar e se empenhar na busca por soluções. Uma dessas questões envolve a compatibilização de projetos construtivos e colaboração entre equipes de ambos os setores, onde disciplinas como "Mecânica Industrial" e Arquitetura precisam andar lado a lado para compilação de um modelo integrado, inteligente, para simulação virtual de um empreendimento comum a diferentes indústrias.

4.7. Gestão da Modelagem

O termo "*Pré-Montagem da Planta Industrial*" para se referir aos modelos digitais no grupo pesquisado se deve ao fato de que, para efeito de visualização, existe um modelo único, integrado e compartilhado entre os envolvidos por meio da ferramenta Navisworks (da Autodesk). Este modelo global recebe os modelos particulares de cada disciplina, elaborados com apoio das ferramentas específicas, sem as ligações paramétricas, mas com dados de geometria que dão ideia da montagem da planta no espaço. Todas as verificações de interferências são realizadas, em reuniões entre os projetistas, utilizando-se a ferramenta "review" do Navisworks. Detectadas e resolvidas as interferências, as alterações são realizadas nos modelos disciplinares.

Saliente-se que o fato do modelo do Navisworks não ser parametrizado implica em simulações em nível de disciplinas, não sendo possível simular todo o modelo, o que pode implicar em perdas para o processo como um todo, pois essas "simulações" só poderão ser realizadas como forma de testes em campo.

4.8. Necessidade de harmonização de sobreposições normativas entre AEC e outros setores

O BIM reflete a ideia de conceitos e ferramentas de modelagem CAD 3D, parametrizada, voltada ao setor AEC, com políticas, processos e tecnologias integrados, com possibilidade de representar, gerenciar e simular, de forma inteligente, características físicas e funcionais de uma instalação durante todo o ciclo de vida do empreendimento. A modelagem paramétrica industrial, ou modelagem da informação industrial, conceitualmente, possui os mesmos objetivos do BIM, contudo, voltado a construções e instalações industriais, com uma abrangência muito mais generalista.

Uma questão relevante verificada nesta pesquisa, em relação ao desenvolvimento de projetos industriais, foi a necessidade harmonização de sobreposições normativas e tecnológicas dos vários modelos de dados de produtos (*product data models*) da construção, sejam eles BIM ou de modelagem industrial. Segundo Eastman *et al.* (2011) existem diversos modelos de dados do produto voltados à indústria da construção, todos utilizando a linguagem EXPRESS. Dentre eles estão os padrões IFC (AEC), o CIS/2 (aço) e a ISO-15926 (processos de projetos industriais). Segundo os autores essas normas variam em relação às informações AEC que representam e à utilização pretendida, contudo possuem sobreposições ou interfaces comuns que precisam ser harmonizadas. Para os autores, exemplos dessa sobreposição estão no fato de que tanto o IFC (ISO-16739) quanto a ISO-15926 pode representar geometrias construtivas. Outras interfaces ocorrem entre a CIS/2 e IFC (em projetos de aço estrutural); entre a ISO-15926 e o IFC (em tubulações e equipamentos mecânicos), etc.

Esforços de harmonização normativos estão sendo discutidos entre a ISO-15926 e o IFC, especialmente na área de equipamentos mecânicos, mas nenhuma medida tem sido realizada. Para que se obtenham êxito nessas iniciativas, esses esforços, em grande parte, separados, terão de ser harmonizados (EASTMAN *et al.*, 2011).

De acordo com Nawari (2012), a padronização se torna crucial quando se trata da comunicação entre diferentes setores e disciplinas da indústria. Todas as diferentes entidades que utilizam a tecnologia BIM na construção e em edificações ou instalações industriais, incluindo arquitetos, engenheiros, contratantes, proprietários e operadores de instalações, e desenvolvedores de softwares, têm diversas nomenclaturas, vocabulários, geometrias, paradigmas de computação, formatos e esquemas de dados, escalas e "visões de mundo" fundamentais. Essas diferentes organizações possuem, também, diferentes padrões e processos de negócios para os quais desenvolveram seus próprios procedimentos de entregas digitais. Para resolução desse problema, padronizações crescentes têm se tornado um fator chave na adoção de BIM entre as indústrias.

Um exemplo de iniciativas de harmonizações normativas vem do *Building Smart*, conforme apresentado por Liebich (2013). De acordo com o autor, o IFC, que tem suas origens nos anos 1990, e que está em sua quarta versão (IFC4 ou IFC2x4) busca, em um futuro próximo, apoiar atividades construtivas de outros setores. O próximo passo deste padrão (o IFC5/ISO16739 2ª Edição) focará na harmonia de interfaces com outros setores industriais e infraestrutura em geral. Essa abordagem, segundo o autor, não será realizada apenas pelas normas IFC, mas em harmonia e colaboração com os grupos relacionados.

Salienta-se, que, em se mantendo essas questões pendentes de falta harmonização normativas, empresas que precisam desenvolver projetos industriais obrigatoriamente precisarão abrir mão de soluções proprietárias para realização da troca de informações entre os diferentes softwares de modelagem, uma vez que esses projetos vez por outra englobam essas interfaces.

Pondera-se aqui a importância de se criarem novas iniciativas para desenvolvimento ou fortalecimento de padrões que abordem e solucionem questões relativas à falta de interoperabilidade entre ferramentas voltadas à construção em diferentes indústrias. Parcerias neste sentido poderiam ser criadas entre universidades públicas e privadas; entre a indústria AEC e outras indústrias como óleo e gás, Siderurgia, Metalurgia, Mineração e Indústrias Manufatureiras; entre empresas de projeto, construtoras e incorporadoras; entre profissionais da construção e pesquisadores, etc. Parcerias neste sentido podem se mostrar potencialmente importantes para transformar conflitos de interesse em colaboração de equipes e integração de sistemas.

4.9. Sequência de Desenvolvimento das Fases dos Projetos pelo Grupo pesquisado

Este trabalho analisou o processo de projeto do grupo pesquisado, tomando como base os princípios de Projeto Simultâneo de Fabrício (2002). Os resultados mostraram que as principais fases de projeto (conceitual, básico e detalhado) guardam características sequenciais, seriadas, sem relação direta com o modelo de Projeto Simultâneo citado. Uma relação de simultaneidade, contudo, surgiu, ao passo que as etapas (sequenciais) foram subdivididas nas várias atividades desempenhadas em dada fase de projeto. Ressalta-se a importância dessa simultaneidade entre diferentes tarefas, mesmo que dentro de uma mesma etapa de projeto, pois, o fato dessas tarefas serem realizadas por disciplinas diferentes indica que esse paralelismo implica em trabalho colaborativo entre diferentes equipes de projeto. Além disso, há características de paralelismos entre as fases de gestão e o projeto detalhado e, algumas simulações e/ou análises também são realizadas concomitantemente à fase de projeto detalhado.

O grupo conta com diferentes disciplinas de projetos, formadas por agentes do setor AEC e de outras indústrias, buscando trabalhar de forma colaborativa para construção de um modelo construtivo industrial. O grupo utiliza, como forma de integração física das equipes de projeto, um edifício único. Essa questão facilita a comunicação e a realização de reuniões entre os gestores e equipes de projetos para resolução de questões pendentes. As necessidades e aspirações dos clientes são traduzidas em modelos 3D parametrizados por disciplina, com

especificações e padronização de materiais; além da compilação de um modelo único, não parametrizado, utilizado para visualizações, verificação de interferências e representação da "*montagem da planta industrial*". Dessa forma, os projetos desenvolvidos pelo grupo, apesar de guardar características sequenciais entre fases de projeto, atendem outros pilares do Projeto Simultâneo (Fabrício, 2002) no que diz respeito à integração de equipes do processo produtivo, interatividade entre agentes; coordenação e tradução de aspirações dos clientes em especificações de projeto.

4.10. Compartilhamento da Informação em BIM e modelagem paramétrica industrial

Como mostrado no capítulo 3, o grupo pesquisado mescla utilização de ferramentas 2D, 3D não parametrizadas, *softwares* BIM e de modelagem paramétrica industrial para elaboração de projetos de instalações e edifícios industriais. Foram também apresentadas as formas e as linguagens utilizadas para integração dessas ferramentas (entre si) e para compilação de um modelo geral, único, por intermédio do Navisworks, utilizando-se um servidor em rede para compilação deste modelo. Os resultados mostraram que a interoperabilidade entre os diferentes *softwares* utilizados acontece, na maioria dos casos, por meio de formatos proprietários em função de questões normativas e tecnológicas e preferências de clientes e usuários.

A bibliografia mostra que existem semelhanças entre as ferramentas BIM e *softwares* de modelagem paramétrica utilizados por outras indústrias. Contudo há algumas sobreposições normativas e tecnológicas que precisam ser harmonizadas pelos padrões de ambas as indústrias. Como citado por Eastman *et al.* (2008) essas ferramentas podem, em alguns casos, concorrerem em um mesmo mercado. O grupo pesquisado é um exemplo disso. As empresas pesquisadas mesclam a utilização de *softwares* BIM e ferramentas de modelagem paramétrica industrial para elaboração de projetos industriais nos diversos ramos (Petróleo, Siderurgia, Mineração, Automobilístico, etc.) para os quais fornecem projetos de Engenharia. Sabe-se que as questões de interoperabilidade ainda estão abertas nessas indústrias, mas as normas IFC's (ISO 16739) e a ISO 15926 compartilham uma base tecnológica comum à norma STEP (ISO 10303).

Conceitualmente, o ideal ou desejável para o grupo pesquisado, para a questão da interoperabilidade, seria um formato de troca de dados único (BIM e modelagem paramétrica industrial), o que é, sem dúvida, muito difícil de concretizar, e a questão ainda passa por certa dependência de iniciativas internacionais, privadas e públicas.

Quanto ao compartilhamento do modelo, como mostrado, as empresas pesquisadas utilizam servidores em rede para disponibilização dos modelos disciplinares. Contudo, o arquivo "único" compilado no Navisworks representa ainda um pequeno passo na direção do compartilhamento da informação em função de modelos digitais. Isso porque este modelo interdisciplinar integrado não representa um modelo BIM ou de modelagem paramétrica, por não carregar propriedades paramétricas suficientes para a realização de simulações do comportamento integrado das edificações ou instalações. Essas propriedades, neste caso, ficam restritas aos softwares específicos de modelagem, em cada disciplina. Esse fato mostra que os modelos paramétricos, no grupo pesquisado, continuam isolados, apesar da integração geométrica que os representa. Reforça-se, entretanto que, esses modelos paramétricos, apesar de disciplinares, podem ser compartilhados interdisciplinarmente por meio de linguagens de padrão proprietário, links diretos e padrões públicos.

Em relação ao compartilhamento dos modelos BIM, as empresas pesquisadas podem ainda evoluir em direção ao Estágio 3 de Capacidade BIM, onde, segundo Succar (2009) compartilham-se o modelos parametrizados e não apenas geométricos. Ressalta-se, entretanto, que essa integração, no caso do grupo pesquisado, não englobaria apenas modelos BIM, mas também modelos de outras indústrias, que, somados aos modelos BIM compõem os projetos industriais elaborados por essas empresas.

Diante do exposto, conclui-se que o caminho iniciado e a ser trilhado pelo grupo de empresas pesquisadas para compartilhamento da informação - em relação aos formatos do arquivo e em função do modelo digital - é no sentido de integração de sistemas, em uma abordagem de modelagem integrada (BIM e modelagem industrial). Essa mescla de diferentes ferramentas de torna a forma de trabalho deste grupo um pouco mais complexo em relação aos desafios enfrentados por empresas de projetos da indústria AEC. Isso porque os problemas de colaboração entre os diferentes agentes que compõem o grupo pesquisado e a troca de dados entre as ferramentas de diferentes indústrias - para geração de um modelo único - são, obviamente, questões mais desafiadoras.

4.11. Dificuldades e limitações desta pesquisa

Em relação à coleta de dados junto ao grupo de empresas pesquisadas, encontrou-se dificuldade na realização deste trabalho devido a, basicamente, dois fatores:

- (a) grande volume de trabalho por parte do grupo pesquisado, fato que frequentemente dificultava os agendamentos de entrevistas;
- (b) falta de integração universidade-empresa. Essa questão se mostrou como um fator complicador ao desenvolvimento da pesquisa em função da falta de comunicação entre o poder público (universidade) e o setor privado (empresas) no sentido de se formatarem intenções comuns na realização de pesquisas que possam contribuir para o crescimento de ambos.

Diante da segunda dificuldade enfrentada neste trabalho, ressalta-se o valor e a necessidade de se fazer integração entre os referidos setores para o avançamento na adoção da tecnologia BIM no Brasil. Essa integração deveria abranger todos os setores da sociedade, seja entre escola e empresa ou entre governo, entidades de classe e sociedade em geral. Esforços isolados e trabalhos não colaborativos dificilmente alcançarão os objetivos e os benefícios oferecidos pelo conceito BIM.

Outro fator dificultador tem relação com o referencial teórico da pesquisa na Modelagem da Informação da Construção (BIM), cujas análises enfatizam construções civis com foco em edificações, em detrimento de construções industriais. Nesse sentido, o presente trabalho valeu-se dos conceitos BIM que podem ser aplicados à realidade de projetos de edificações industriais que não se referem necessariamente à indústria da construção. Dessa forma foi possível verificar que existem particularidades de interfaces normativas entre diferentes indústrias, bem como semelhanças e divergências entre diferentes ferramentas de modelagem paramétrica. Esse fato aponta para a necessidade de se fazerem esforços no sentido de adotarem-se soluções para questões de sobreposições normativas e tecnológicas não harmonizadas entre os setores.

4.12. Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugerem-se estudos para desenvolvimento de estrutura conceitual de gestão do processo de projeto BIM e de modelagem paramétricas industrial, entre duas ou mais disciplinas de projeto do grupo pesquisado. Para este estudo poder-se-ia utilizar a metodologia IDM, elaborando-se mapas de processo para a descrição do fluxo das atividades do processo de projeto, esclarecendo e unificando o conhecimento dos agentes envolvidos na forma como o trabalho é desenvolvido, assim como citado por Manzione (2013a).

Outra sugestão a futuras pesquisas é registrada aqui no sentido de se estudarem formas de incentivo à criação de iniciativas públicas brasileiras para desenvolvimento de ferramentas de

gestão de materiais e modelagem BIM, assim como o MEX – *Material Explorer* – contudo, com características de *software* de padrão aberto e gratuito. Um banco de dados único e atualizado, acessível a todos os entes do setor AEC e construções industriais - contendo descritivos e especificações de materiais, assim como uma biblioteca de famílias de objetos paramétricos - poderia representar significativo ganho na gestão de materiais e de projetos de ambas as indústrias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGESC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GESTORES E COORDENADORES DE PROJETOS. Manual de Escopo de Serviços para Coordenação de Projetos: Indústria Imobiliária. 105 p.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. AIA, 2007. Integrated Project Delivery: A Guide. California, 2007. Version 1. Disponível em <http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf>. Acesso em 26 ago. 2014.

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em Arquitetura por meio do formato IFC. *Gestão & Tecnologia de Projetos* [ISSN 19811543]. v. 4, n. 2, 2009, p. 1-36. Disponível em <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br>>. Acesso em 18 nov. 2010.

ANTUNES, C. E.; SCHEER, S. Requisitos de informação e mapas do processo de projeto de estruturas em concreto armado: um estudo de caso utilizando a metodologia IDM. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v.5, n.1, p. 18-34, jan./jun. 2014.

ARAÚJO, T. T.; HIPPERT, M.A.S.; ABDALLA, J.G.F. A contribuição do BIM para a representação do ambiente construído. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5, 2011, Salvador. *Anais...* Salvador: ANTAC, 2011. CD-ROM.

AUTODESK. Autodesk Navisworks products. Overview of Timeliner Tool. Oct 1, 2014. Disponível em <<http://knowledge.autodesk.com/support/navisworks>>. Acesso em 22 jan. 2015.

AUTODESK. AutoCAD Plant 3D. Visão Geral. Disponível em <<http://www.autodesk.com.br/products/autocad-plant-3d/overview>>. Acesso em 17 dez. 2014.

AYRES, F. C; SCHEER S. Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS (ISSN 1982-7296), 7, 2007, Curitiba, *Anais...* Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-57.pdf>>. Acesso em 18 nov. 2014.

BENTLEY. Does the Building Industry Really Need to Start Over? A Response from Bentley to Autodesk's BIM-Revit Proposal for the Future. 2003. Disponível em <http://www.laiserin.com/features/bim/bentley_bim_whitepaper.pdf>. Acesso em 05 jan. 2015.

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) TASK GROUP. A report for the Government Construction Client Group. Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy Paper. 2011. Disponível em: <<http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/BIS-BIM-strategy-Report.pdf>>. Acesso em 15 out. 2014.

BUILDING SMART FINLAND. Common BIM Requirements. COBIM. 2012. Disponível em: <<http://www.en.buildingsmart.kotisivukone.com/3>>. Acesso em 08 jan. 2015.

BUILDING SMART. Information Delivery Manual: Guide to Components and Development Methods. 2010. Disponível em: <http://iug.BuildingSMART.org/idms/development/IDMC_004_1_2.pdf>. Acesso em 05 dez. 2014.

BUILDING SMART. IFD Library for buildingSMART. Disponível em <<http://www.ifd-library.org/index.php?title=Overview>>. Acesso em 08 jan. 2015.

CAMPBELL, D.A. Modeling Rules. *Architecture Week*. Design Tools, p. T1.1, 2006. Disponível em <http://www.architectureweek.com/2006/1011/tools_1-1.html>. Acesso em 21 mar. 2011.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. CTE, 1998. Programa de gestão da qualidade no desenvolvimento de projeto na construção civil. São Paulo, 1998 *apud* FABRICIO, M. M.; BAÍA, J. L.; MELHADO, S. B. Estudo da seqüência de etapas do projeto na construção de edifícios: cenário e perspectivas. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART230.pdf>. Acesso em 27 jan. 2014.

CHECCUCCI, E. S.; PEREIRA, A.P.C. AMORIM, A. L. A difusão das tecnologias BIM por pesquisadores do Brasil. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5, 2011, Salvador. *Anais...* Salvador: ANTAC, 2011. CD-ROM.

COELHO, S. B. S. *Coordenação de projetos de edifícios com emprego de sistemas colaborativos baseados em software livre*. 2008. 147 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS (ISSN 1982-7296), 8, 2008, São Paulo: *Anais...* Disponível em: <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br>>. Acesso em 30 ago. 2010.

COLLABORATIVE WORKING IN CONSORTIUM. CWIC, 2004. The Building Technology and Construction Industry Technology. Roadmap. 2004 *apud* SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies. J. U. e. U. Isikdag. 2009a. 50p.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. CIC 2011. “Building Information Modeling Project Execution Planning Guide – Version 2.1.” May, 2011. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. 2011. Disponível em <<http://bim.psu.edu>>. Acesso em 13 de ago. de 2014.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. CIC 2013. “BIM Planning Guide for Facility Owners”. Version 2.0, June, 2013. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. 2013. Disponível em <<http://bim.psu.edu>>. Acesso em 18 ago. 2014.

CONSTRUCTION INDUSTRY COUNCIL (CIC). Building Information Model (BIM) Protocol. Standard Protocol for use in projects using Building Information Models. CIC/BIM Pro. First Edition. 2013. Disponível em <<http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2013/02/The-BIM-Protocol.pdf>>. Acesso em 15 out. 2014.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 2007, Porto Alegre. *Integração de Sistemas em Arquitetura, Engenharia e Construção*. Porto Alegre. TIC, 2007. Páginas 1-9. Disponível em <<http://www6.ufrgs.br/norie/tic2007/artigos/A1085.pdf>>. Acesso em 17 nov. 2010.

EASTMAN C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. New Jersey: Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2008. 490 p.

EASTMAN C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. *BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc., 2011. 640 p.

FABRICIO, M. M.; BAÍA, J. L.; MELHADO, S. B. Estudo da seqüência de etapas do projeto na construção de edifícios: cenário e perspectivas. 1998. 8p. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART230.pdf>. Acesso em 27 jan. 2014.

FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. Projeto Simultâneo e a Qualidade na Construção de Edifícios. In. Anais do Seminário Internacional de Arquitetura. NUTAU - FAUUSP. São Paulo, 1998.

FABRÍCIO, M. M. *Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios*. 2002. 350 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FOX, S, HIETANEN, J. Interorganizational use of building information models: potential for automational, informational and transformational effects. In: *Construction Management and Economics*, 25., 2007. p. 289-296.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. GEORGIA TECH, 2009. DIGITAL BUILDING LAB. BIM Resources. Disponível em <<http://bim.arch.gatech.edu>>. Acesso em 18 jan. 2011.

GIL, A. C. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 4 ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002. 175p.

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

GRILO, A.; GONÇALVES, R. J. *Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments*. Elsevier. *Automation in Construction* 19. 2010. P. 522-530. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science>>. Acesso em 18 nov. 2010.

HÄKKINEN, T. M. *Sustainable building related new demands for product information and product model based design*. *ITcon*, v. 12, p. 19-37, 2007. Disponível em <http://www.itcon.org/data/works/att/2007_2>. Acesso em: 11 de mar. de 2011.

HALFAWY, M., FROESE, T. A Component-Based Framework for Integrated AEC/FM Project Systems. In: Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, 2002, Montréal. **Anais...** Montréal: CSCE/SCGC, 2002. p. 1-9.

HALFAWY, M., FROESE, T. Component-Based Framework for Implementing Integrated Architectural/Engineering/Construction Project Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 21., 2007. p. 441–452.

ITO, A. L. Y. *Gestão da Informação no processo de projeto de Arquitetura: estudo de caso*. 2007. 161 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

JAAFARI, A. Concurrent Construction and Life Cycle Project Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 123, n.4, p. 427-436, 1997 *apud* SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies. J. U. e. U. Isikdag. 2009a. 50p.

KHEMLANI, L. In: Annual BIM Awards Part 1, 2., 2006. *Building the future*. AECbytes, 12 jul. 2006. Disponível em <<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2006>>. Acesso em: 18 de jan. de 2011.

KOSKELA, Lauri. *An Exploration towards a Production Theory and its application to Construction*. 2000. Tese (Doutorado em Tecnologia) – VTT Technical Research Centre of Finland, Helsinki University of Technology, Esbo, 2000. Disponível em <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P408.pdf>>. Acesso em 05 jan. 2015.

LEE, A., WU, S., MARSHALL-PONTING, A. J., Aouad, G., Cooper, R., Koh, I., *et al.* Developing a Vision of nD-Enabled Construction. 2003. Salford - University of Salford. Disponível em <<http://www.construct-it.org.uk/pages/publications> >. Acesso em 05 jan. 2015.

LIEBICH, T. IFC for INFRAstructure. INFRA-BIM Workshop. 2013, Helsinki. Building Smart. International home for openBIM.

LOWE, R. H., MUNCEY J. M. ConsensusDOCS 301 BIM Addendum. *Construction Lawyer*. v. 29, n. 1, Winter 2009. 9p.

MACIEL, L.L. O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MANZIONE, L. Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM. 2013a. 389 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MANZIONE, L. Desafios BIM. Transição para BIM é complexa e exige esforço conjunto para compartilhamento de informações entre os envolvidos no projeto. **Revista Técnica**, São Paulo, Jul., 2013b. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/196/artigo294034-1.aspx>>. Acesso em 05 fev. 2015.

MELHADO, S.; EVETTE, T.; HENRY, E.; FABRÍCIO, M.; SEGNINI, F. J.; LAUTIER, F. Uma perspectiva comparativa da gestão de Projetos de Edificações no Brasil e na França. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v.1 , n.1, p.1-22. 2006.

MOONEY, J. G., GURBAXANI, V., KRAEMER, K. L. A process orientated framework for assessing the business value of information technology. 1996. *Advances in Information Systems*, 27, 68–81 *apud* PAN, Y. H.; TZENG, C. T.; EMMITT; S. A Study of BIM Performance at the Design Stage by Architecture Consulting Firms in Taiwan. In: *ARCHITECTURAL MANAGEMENT IN THE DIGITAL ARENA*, 2011. Vienna. Proceedings of the CIB-W096 Conference. Eindhoven: University Press, Eindhoven University of Technology (TU/e). p. 86-96.

MÜLLER, F. M. *A Interoperabilidade entre sistemas CAD de projetos de estruturas de concreto armado baseada em arquivos IFC*. 2011. 129f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NASCIMENTO, L. A. *Proposta de um sistema de recuperação de informação para extranet de projeto*. 2004. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. NIST, 2004. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry. 2004. Disponível em <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/PDF/b04022.pdf>>. Acesso em 03 jan. 2015 *apud*

NAWARI O. N. BIM Standards. Advancement and Industry Deployment. In: International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 14., 2012, Moscow. **Anais eletrônicos**... Moscow: ISCCBE. Disponível em <http://www.icccbce.ru/paper_long/0405paper_long.pdf>. Acesso em 19 jan. 2015.

PAN, Y. H.; TZENG, C. T.; EMMITT; S. A Study of BIM Performance at the Design Stage by Architecture Consulting Firms in Taiwan. In: ARCHITECTURAL MANAGEMENT IN THE DIGITAL ARENA, 2011. Vienna. Proceedings of the CIB-W096 Conference. Eindhoven: University Press, Eindhoven University of Technology (TU/e). p. 86-96.

PENTTILÄ, H. Describing The Changes In Architectural Information Technology to Understand Design Complexity And Free-Form Architectural Expression. In: JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION (ITCON), 11, 2006, 395-408. Disponível em <<https://www.academia.edu>>. Acesso em 26 dez. 2014.

PEREIRA, C. A. S. Realidade Virtual aplicada a formação inicial e continuada de técnicos de operação da indústria de refino de petróleo - uma metodologia. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/CarlosAntonioDeSouzaPereira.pdf >. Acesso em 10 fev. 2015.

ROBSON, C. Real world research: a resource for social scientists and practitioner - researchers. 2nd ed. Blackwell Publishing, 2002. *Apud* ANTUNES, C. E.; SCHEER, S. Requisitos de informação e mapas do processo de projeto de estruturas em concreto armado: um estudo de caso utilizando a metodologia IDM. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v.5, n.1, p. 18-34, jan./jun. 2014.

SANTOS, E. T. Building Information Modeling and Interoperability. SIGraDi, São Paulo. 2009. PRO Prática Profissional Digitais. 437, 3p. Disponível em <<https://www.academia.edu/826268>>. Acesso em 10 dez. 2014.

SHEN, W. HAO, Q., MAK, H., NEELAMKAVIL, J., XIE, H., DICKINSON, J., THOMAS, R., PARDASANI, A., XUE, H. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. Elsevier. Advanced Engineering Informatics. 24. 2010. p.196–207. Disponível em < www-sciencedirect-com>. Acesso em 10 jan. 2015.

STEHLING, M. P. *A utilização de modelagem da informação da construção em empresas de arquitetura e engenharia de Belo Horizonte*. 153f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies. J. U. e. U. Isikdag. 2009a. 50p. Disponível em < <https://www.academia.edu>>. Acesso em 21 out. 2014.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18 (3), p. 357-375. 2009b. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001568>>. Acesso em 20 out. 2014.

TAYLOR, J. E.; BERNSTEIN, P.G. Paradigm Trajectories of Building Information Modeling Practice in Project Networks. *Journal of Management in Engineering*. ASCE. Abril, 2009.25. p.69-76.

TOBIN, J. Proto-Building: *To BIM is to Build*. AECbytes, 28 mai. 2008. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding.html>>. Acesso em: 18 de nov. 2010.

WIX, J. Building Information Modeling → IFC. In: IFC/IFD/IDM Workshop, 2008, Alexandria Va. 6th – 8th April 2008.