RITA CRISTINA FERREIRA

USO DO CAD 3D NA COMPATIBILIZAÇÃO ESPACIAL EM
PROJETOS DE PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM
EDIFICAÇÕES

São Paulo, SP
2007

RITA CRISTINA FERREIRA

USO DO CAD 3D NA COMPATIBILIZAÇÃO ESPACIAL EM
PROJETOS DE PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM
EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos

São Paulo, SP
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de outubro de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Rita Cristina

Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações / R. C. Ferreira. – ed.rev. -- São Paulo, 2007.

159 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.CAD 2.Vedações verticais 3.Edifícios (Projeto e construção) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

DEDICATÓRIA

*Aos meus filhos amados,
Carolina e Pedro*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos, por ter acreditado na minha proposta e me aceito como sua orientanda; pela dedicação, compreensão e oportunidade de intensa e proveitosa discussão... on-line, off-line e, é claro, pessoalmente. (O que quer dizer que, sem TI, seria impossível fazer esta dissertação!)

Ao Prof. Dr. Silvio Burrattino Melhado, amigo de longa data e da mesma luta pela qualidade em projeto e cuja contribuição foi muito importante tanto na qualificação quanto na defesa desta dissertação de mestrado.

Ao Prof. Dr. Cheng Liang Yee, pelas valiosas contribuições a este trabalho no exame de qualificação de mestrado.

Ao Prof. Dr. Sérgio Scheer, que tive grande alegria de conhecer recentemente, pela participação na banca de defesa deste mestrado.

Ao Gustavo Neves da Rocha Filho, pelo pai amoroso, atencioso e dedicado, que não mede esforços para dar segurança e muito afeto aos nossos filhos. E também ao grande amigo, que sempre atende aos meus chamados quando eu mais preciso, e por quem tenho grande admiração.

Aos meus filhos, Carolina Neves da Rocha e Pedro Neves da Rocha, que têm demonstrado compreensão e responsabilidade e têm me dado muito orgulho.

À minha mãe, Regina Célia de Souza Ferreira, que fez a última revisão deste texto e me ensinou muito do que sou hoje como profissional. Ao meu pai, Elcio Ferreira Campos, de quem herdei a organização no trabalho.

Ao querido Luis Alves Dias, pelo apoio nestes últimos quatro anos e meio, desde que nos conhecemos, e pelo estímulo em concluir este mestrado (mesmo a 10 mil km de distância). E agora, é sorrir por tudo que aconteceu e “sempre olhar para frente”.

Ao grande amigo Deodato Wirz Vieira, que gerou o embrião de toda esta estória do projeto de alvenaria em 3D, na Encol, e sonhava com o futuro. (Um gênio!!!)

Ao amigo, Fernando Henrique Sabbatini, que me ensinou a dar os primeiros passos com a alvenaria.

Ao amigo, Carlos Torres Formoso, que participou intensamente dos meus primeiros momentos de reflexão sobre a TI na construção.

Ao amigo Ricardo Codinhoto, pelas primeiras discussões sobre o plano de pesquisa e, especialmente, pela dedicação e participação no estudo de caso deste trabalho e nos artigos que fizemos juntos.

Aos amigos, Cynthia Kamei e Luiz Sérgio Franco, que gentilmente colaboraram diretamente desse trabalho e cuja participação proporcionou uma oportunidade rara em termos de pesquisa.

Aos meus amigos e parceiros da DWG, Ari Monteiro (um dos mais antigos da turma), Frank Soares Okhoda (o mais ousado dos projetistas em 3D), Max Jungiger (o mais novo integrante) e todos os funcionários, estagiários e parceiros que trabalharam para a DWG e me ajudaram a transformar idéias em realizações de fato, e, em especial, à Audrey Maia Egéa, que, neste trabalho, participou do estudo de caso, mostrando-se uma pesquisadora em potencial.

A todos os clientes da DWG e, em especial, à Ana Cristina Chalita, ao Antonio Cozman, ao Carlos Erlichman (Carlão) e ao Gerson Jamil Sallum, que acreditaram na forma “diferente” do meu trabalho e me deram oportunidade de torná-lo realidade.

Aos amigos do LabCAD – Fábio Kenji Motezuki, Márcia Regina Freitas, Viviane Abe e, em especial, ao Rodrigo Duarte Seabra, que esteve sempre “on-line” para ajudar.

À Fatima Regina Goncalves Sanches Domingues, que, sempre com um belo sorriso, estava pronta para atender às nossas aflições de pós-graduandos.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio do Programa de Inovação Tecnológica para Pequenas Empresas, processo 01/13304-0.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de uso do CAD 3D para o desenvolvimento de projetos para produção de vedações verticais, sendo a compatibilização parte intrínseca do processo de projeto. A pesquisa foi organizada adotando-se três estratégias, com a finalidade de buscar sucessivas validações em relação às vantagens do uso do CAD 3D proposto quando comparado ao CAD 2D. As estratégias utilizadas foram: um estudo de caso piloto, um levantamento de dados e um experimento exploratório. O estudo de caso piloto e o experimento exploratório, nos quais foi utilizado o método proposto, possibilitaram concluir que o CAD 3D possui vantagens sobre o CAD 2D, sendo mais rápido e mais eficaz na verificação de interferências espaciais, especialmente em situações complexas. Através do levantamento de dados em projetos representados em CAD 2D, concluiu-se também que esse tipo de representação possui características que lhe conferem limitações e podem gerar erros de análise. Foram identificadas cinco características básicas da representação em 2D, que podem induzir a erros: ambigüidade, simbolismo, simplificação, omissão e fragmentação. Estas conclusões validaram a proposta usando o CAD 3D para o desenvolvimento de projetos de vedações. A proposta deste trabalho apresenta vantagens em relação ao método corrente de desenvolvimento de projetos com o CAD 2D. Estas vantagens estão relacionadas principalmente à maior facilidade de visualização e uso efetivo de recursos automáticos disponíveis nos pacotes CAD de identificação de interferências, reduzindo os problemas da representação em 2D. Desta forma, a compatibilização torna-se um processo muito mais preciso e rápido. O método proposto está baseado em modelos de gestão mais modernos, como a engenharia simultânea, incluindo a redução de tempo gasto em atividades que não agregam valor, além de preparar para o uso de ferramentas mais avançadas como o BIM (Building Information Modeling).

Palavras-chave: Projetos para produção; compatibilização de interferências espaciais; produtividade em projeto; sistemas CAD 3D; gestão do processo de projeto.

ABSTRACT

This work aims to present a proposal for 3D CAD use for production design of partition walls, including the design coordination as an inherent part of the design process. The research was organized adopting three strategies to obtain successive validations regarding the advantages of 3D CAD compared to 2D CAD use. The strategies used were: a pilot case study, data collection and an exploratory experiment. The case study and the exploratory experiment, which were carried out using the proposed method, allowed the conclusion that 3D CAD has advantages over 2D CAD, the former being faster and more effective for spacial interference checking, specially in complex situations. By using a data collection from designs developed with 2D CAD, the research also concluded that the two-dimensional representation has limiting characteristics that may produce analysis errors. It was identified five basic characteristics of the 2D representation that may lead to error: ambiguity, symbolism, simplification, omission and fragmentation. These conclusions have validated the proposal for a method using 3D CAD for production design of partition walls. This proposal presents advantages over the current 2D CAD -based design method. These advantages are related mainly to better visualization and effective use of the automatic tools of CAD packages for interference identification, reducing the representation problems of 2D. Therefore, compatibility analysis becomes more precise and faster. The proposed method is based on modern management models, such as concurrent engineering, decreasing time spent on non-value adding activities, as well as preparing for using of advanced tools like BIM (Building Information Modeling).

Keywords: Design for Production; design coordination; design productivity; 3D CAD systems; design process management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Organização do trabalho.....	17
1.2. Delimitação da Pesquisa e Objetivos	18
1.2.1. Justificativas	19
1.2.2. Objetivo Geral.....	19
1.2.3. Objetivos Específicos.....	20
1.3. Método de Pesquisa.....	20
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	22
2.1. Tecnologias CAD	22
2.1.1. CAD 2D.....	22
2.1.2. CAD 3D	23
2.1.3. Técnicas de representação em CAD 3D	25
2.1.4. O CAD 3D Paramétrico e o BIM.....	27
2.2. Emprego de CAD 3D no projeto de Edifícios	28
2.3. Processo de Projeto	31
2.4. O Projeto para Produção de Vedações	34
2.5. Compatibilização	37
3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS DA PESQUISA	40
3.1. Estudo de Caso Piloto	41
3.1.1. Os escritórios de projetos e a organização das equipes	41
3.1.2. Descrição do empreendimento	43
3.1.3. Coleta dos dados	44
3.1.4. Os processos de desenvolvimento dos projetos de vedações e compatibilização nos escritórios estudados	46
3.1.5. Análise dos dados	51
3.1.6. Desenvolvimento de projetos com CAD 2D e CAD 3D	59
3.1.7. Considerações finais	60
3.2. Análise das limitações da representação bidimensional.....	62
3.2.1. Acervo de projetos investigado	63
3.2.2. Seleção de projetos para análise	63
3.2.3. Compilação e Classificação de problemas.....	64
3.2.4. Classificação das limitações da representação técnica em 2D.....	68
3.3. Experimento Exploratório.....	71
3.3.1. A preparação do experimento.....	72
3.3.2. Entrevista semi-estruturada.....	72
3.3.3. Os modelos selecionados para aplicação do experimento.....	74
3.3.4. Análise dos resultados	89

4. PROPOSTA DE PROCESSO PARA O USO DO CAD 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS PARA PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES	93
4.1. Princípios para a modelagem em 3D	93
4.1.1. Nomenclatura dos objetos	94
4.1.2. Agrupamento dos objetos.....	95
4.1.3. Definição da unidade de medida e da referência global e o modelo único.....	97
4.1.4. Ajuste dos arquivos recebidos das demais disciplinas	99
4.1.5. Modelagem dos objetos	100
4.1.6. Controle de versões.....	101
4.2. As fases do processo do projeto de vedações e compatibilização com CAD 3D ..	101
4.2.1. Fase 1 – Levantamento e estudos iniciais.....	103
4.2.1.1. Seleção Tecnológica.....	103
4.2.1.2. Modulação e compatibilização entre arquitetura e estrutura.....	105
4.2.1.3. Compatibilização inicial com os demais subsistemas	108
4.2.1.4. Aprovação do cliente.....	108
4.2.2. Fase 2 – Desenvolvimento	109
4.2.2.1. Detalhamento das paredes e compatibilização	109
4.2.2.2. Definição e identificação de cada parede	110
4.2.2.3. Desenvolvimento das paredes	114
4.2.2.4. Compatibilização com os demais subsistemas	115
4.2.3. Fase 3 – Fechamento do projeto.....	118
4.2.4. Fase 4 – Assistência técnica à obra	122
4.2.5. Considerações Finais	122
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
5.1. Contribuições do trabalho	126
5.2. Pesquisas futuras	126
ANEXO 1. PLANILHA DETALHADA DE LEVANTAMENTO DE ATIVIDADES DO ESCRITÓRIO 2D	134
ANEXO 2. PLANILHA DETALHADA DE LEVANTAMENTO DE ATIVIDADES DO ESCRITÓRIO 3D	139
ANEXO 3. PROJETOS SEMELHANTES AO DO ESTUDO DE CASO	143
ANEXO 4. FLUXO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DO ESCRITÓRIO 2D	149
ANEXO 5. FLUXO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DO ESCRITÓRIO 3D	153
ANEXO 6. ENTREVISTAS DO EXPERIMENTO	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo em arame, contendo linhas 3D e simbologia 2D (AUTODESK, 1995, pág. 429)	24
Figura 2 – Imagem de um cubo em 3D.....	24
Figura 3 – Seqüência de operações booleanas (SANTOS, 1994, p. 28).	25
Figura 4 – Geração de sólidos por varredura rotacional e translacional, respectivamente (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2006, p.75).	26
Figura 5 – Processo de Projeto (LOCKHART; JOHNSON, 2000).....	32
Figura 6 – Parte de alvenaria com elétrica embutida e passagens de hidráulica na última fiada.....	35
Figura 7 – Capacidade de influência sobre os custos do empreendimento segundo o ciclo de vida do produto (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE, 1987 apud MELHADO; AGOPYAN, 1995).....	38
Figura 8 - Esquema geral da planta do pavimento tipo objeto do estudo de caso. ...	44
Figura 9 - Parte da planilha de coleta de dados do Escritório 2D.....	45
Figura 10 - Parte da planilha de coleta de dados do Escritório 3D.....	46
Figura 11 – Macroprocesso de desenvolvimento de projetos do Escritório 2D (obtido a partir de entrevistas com a direção do escritório).....	47
Figura 12 – Macroprocesso do desenvolvimento de projetos do Escritório 3D	48
Figura 13 – Visualização de parede de alvenaria em CAD 3D.....	49
Figura 14 – Desenho gerado pelo Escritório 3D em que as “nuvens” contêm informações (atributos) automaticamente associadas aos objetos	49
Figura 15 – Visualização de parede de alvenaria em CAD 2D.....	51
Figura 16 – Trecho de planilha de registro de problemas identificados do Escritório 2D.....	51
Figura 17 – Esquema geral das atividades do processo de projeto em 2D.	59
Figura 18 – Ciclo genérico de atividades de projeto usando CAD 3D.....	60
Figura 19 – Vista “C”: detalhe de hidráulica.	66
Figura 20 – Detalhe em planta de instalação hidráulica.....	67
Figura 21 – Modelos em 3D, ilustrando o problema da omissão da peça de fixação do arranjo de tubulação de água quente e fria para o chuveiro e interferência com montantes para gesso acartonado	67
Figura 22 – Representação em 2D da situação em Figura 23.	76
Figura 23 – Modelo em 3D do ralo ligado à prumada na varanda.....	76
Figura 24 – A representação em 2D indica um “aparente” desvio da água quente e fria, próximo a onde está indicado V6.	77
Figura 25 – Solução conforme a interpretação da representação em 2D da Figura 24.	77
Figura 26 – Solução racional para a situação representada na Figura 24.	78
Figura 27 – Em planta, a hidráulica é detalhada passando pelo pavimento inferior, saindo próximo da pia para o vaso sanitário.	79

Figura 28 – Em elevação, o projetista apresenta o detalhe passando pela parede horizontalmente.....	79
Figura 29 – Representação através do CAD 3D, com a solução integrada de todo o espaço.....	80
Figura 30 – O padrão de altura da caixa de elétrica interfere com a hidráulica.....	81
Figura 31 – Representação em 2D da elétrica e hidráulica.....	81
Figura 32 – Solução apresentada em planta, onde já era possível levantar a hipótese de que as instalações estariam muito apertadas dentro do furo. Porém faltavam detalhes em cortes para avaliar outras interferências	83
Figura 33 – O furo na viga não é suficiente para a passagem da instalação hidráulica.....	83
Figura 34 – Corte no modelo 3D, com evidências das interferências do furo. A posição do esgoto não podia ser mudada devido a dependências de outras ligações dentro do shaft.	84
Figura 35 – Interferência em planta de difícil visualização, pois os furos são indicados em alturas diferentes e as tubulações são de dimensões também diferentes (água fria, quente e ar condicionado).	85
Figura 36 – Interferência entre água quente (tubos vermelhos), água fria (tubo azul) e exaustão mecânica (tubo magenta).	85
Figura 37 – Saída da chaminé do aquecedor na viga.	86
Figura 38 – A mesma situação da figura anterior, porém retirada a viga para visualização da interferência com o forro.	87
Figura 39 – Vista elaborada pelo projetista em 2D, com a interferência da saída da chaminé com o forro, sem as tubulações adicionais que passam pela mesma situação. Se for executada a “reentrância” proposta pelo projetista, algumas instalações não cabem mais na altura indicada de sanca.	87
Figura 40 – Representação em 2D da distribuição das instalações e a indicação de um furo para passagem das mesmas (ver também Figura 41).....	88
Figura 41 – A instalação não entra dentro do furo previsto na estrutura e solicitado por hidráulica, a não ser com a introdução de mais dois cotovelos para descer o nível da mesma. Porém, essa informação em planta, na figura anterior, não está explícita.	89
Figura 42 - Estrutura de decomposição da informação segundo sistemas e subsistemas (FERREIRA; CODINHOTO, 2004)	95
Figura 43 – Decomposição da edificação em sistema maior, sistema, subsistema, componente e elemento, com destaque para o exemplo em vedações brutas, baseada em Ferreira e Codinhoto (2004).	96
Figura 44 – Projeto do sistema de organização do espaço (projeto do produto de arquitetura), onde o ícone XY está colocado no ponto de referência global (0,0,0). ..	99
Figura 45 – Corte original em representação 2D no plano XY.	100
Figura 46 – O corte em representação 2D ajustado à posição XYZ relativa ao modelo 3D, usando-se como referência os níveis de piso bruto.....	100
Figura 47 – Família de blocos cerâmicos da Selecta (EGÉA, 2004).....	104
Figura 48 – Componente de alvenaria e alguns elementos (blocos e contravergas)	105

Figura 49 – Modelo de níveis básicos de piso bruto, em relação à definição do 0,0,0 absoluto, com cotas em metros, porém o modelo está em centímetros.	106
Figura 50 – Modulação vertical inserida no contexto do esquema vertical de níveis dos pavimentos.	107
Figura 51 – Detalhe da modulação vertical	108
Figura 52 – Separação do projeto do produto dos subsistema de alvenaria.....	110
Figura 53 – Trecho em destaque dos componentes do subsistema de alvenaria, com a representação de amarração intertravada.....	111
Figura 54 – Numeração das paredes com a indicação relativa do operário, através de um ícone simulando um “olho” (ponto de vista do operário) mesclado com uma seta de direção.....	112
Figura 55 – Modelo em 3D de parte do subsistema de vedações.....	112
Figura 56 – Identificação das paredes através de numeração individual.	113
Figura 57 – Parede modelada individualmente e compatibilizada com a estrutura.	115
Figura 58 – Componente de esgoto.	116
Figura 59 – Exemplo de registro de análise identificando uma incompatibilidade e sua solução, desenvolvido em LISP que insere informações extendidas nos objetos.	117
Figura 60 – Detalhe de um conjunto de paredes em um modelo único.	119
Figura 61 – Paredes dinamicamente referenciadas num único arquivo, incluindo a estrutura.	120
Figura 62 – Modelo único com as elétricas atingindo as lajes, através do qual se faz uma seção tomando-se por referência o ponto de encontro entre os dois subsistemas (na figura a laje inferior, onde se apóiam os pilares foram omitidos, para melhor visualização).....	121
Figura 63 – Trecho da primeira fiada em planta, extraída do modelo único.....	121
Figura 64 – Planta do estudo de caso.....	143
Figura 65 – Projeto 1 semelhante ao projeto do estudo de caso.	144
Figura 66 – Projeto 2 semelhante ao projeto do estudo de caso.	145
Figura 67 – Projeto 3 semelhante ao projeto do estudo de caso.	146
Figura 68 – Projeto 4 semelhante ao projeto do estudo de caso.	147
Figura 69 – Projeto 5 semelhante ao projeto do estudo de caso.	148
Figura 70 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapa 1.	149
Figura 71 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapa 2	150
Figura 72 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapa 3	151
Figura 73 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapas 4 e 5.	152
Figura 74 - Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 3D – etapas 1 a 6.	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos escritórios do estudo de caso (FERREIRA;SANTOS, 2004)	42
Tabela 2 – Análise das informações coletadas no estudo de caso (Revisado de FERREIRA; SANTOS, 2004)	55
Tabela 3 - Descrição das categorias de problemas analisados (CODINHOTO; FERREIRA, 2004)	56
Tabela 4 - Problemas percebidos pelos Escritórios (CODINHOTO; FERREIRA, 2004)	57
Tabela 5 - Problemas idênticos percebidos <u>por ambos</u> os Escritórios (CODINHOTO; FERREIRA, 2004)	57
Tabela 6 - Problemas percebidos <u>somente</u> pelo Escritório 2D (Revisado de CODINHOTO; FERREIRA, 2004)	57
Tabela 7 - Problemas percebidos <u>somente</u> pelo Escritório 3D (Revisado de CODINHOTO; FERREIRA, 2004)	58
Tabela 8 – Exemplos de análise dos problemas identificados nos projetos 2D, com base nas categorias de problemas de Codinhoto e Ferreira (2004).....	65
Tabela 9 - Características da representação em 2D que podem gerar problemas de análise no processo de projeto resultantes desta pesquisa,	70
Tabela 10 – Resumo das entrevistas	92
Tabela 11 – Quadro Insumo-Processo-Produto para o Projeto de Vedações Verticais em Alvenaria de Blocos.....	102
Tabela 12 – Relacionamento entre as paredes	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Respostas à pergunta da pesquisa feita por FMI Corporation (2005, p. 17): “Relativamente ao uso do projeto em 3D, qual situação melhor descreve sua organização?” (Tradução desta pesquisadora)	29
Gráfico 2 – Tempo total para as atividades genéricas aglutinadas para os dois métodos	53
Gráfico 3 - Porcentagem de tempo para as atividades genéricas do método 2D (FERREIRA; SANTOS, 2004)	54
Gráfico 4 – Porcentagem de tempo para as atividades genéricas do método 3D (FERREIRA; SANTOS, 2004)	54
Gráfico 5 – Distribuição da experiência profissional entre os entrevistados (em anos).	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
BIM	Building Information Modeling
CAAD	Computer Aided Architectural Design
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> ou <i>Computer-Aided Drafting</i> , Projeto Auxiliado por Computador ou Desenho Auxiliado por Computador
CAD 2D	Desenho Auxiliado por Computador em duas dimensões
CAD 3D	Projeto Auxiliado por Computador em três dimensões
CAD 4D	Projeto Auxiliado por Computador em três dimensões mais o tempo
CAD nD	Projeto Auxiliado por Computador em “n” dimensões
CAE	Computer-Aided Engineering
CMAA	Construction Management Association of America
CSG	<i>Constructive Solid Geometry</i> ou Geometria de Sólidos Construtivos
D/IT	Design/Information Technology
EDI	Electronic Data Interchange
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
LISP	List Processing
MS-DOS	Microsoft Disk Operating System
NBR	Norma Brasileira Recomendada
PIB	Produto Interno Bruto
PIPE	Programa de Inovação Tecnológica para Pequenas Empresas
TI	Tecnologia da Informação
RV	Realidade Virtual
VB	Visual Basic

1. INTRODUÇÃO

A construção de edifícios concentra uma das mais importantes atividades econômicas para o país, e é parte do setor da construção civil que, por sua vez, respondeu por 13,8% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro de 2003, com 3,8 milhões de empregos (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005). Apesar da sua importância, o setor também é reconhecido pela baixa produtividade. Esse fato foi explorado por outros estudos como da McKinsey Global Institute (BAILEY, 1998), que apontou uma produtividade da mão-de-obra do subsetor de construção residencial no Brasil equivalente a 32% da americana. Este estudo destaca, entre os motivos para o mal desempenho do setor, ineficiências relacionadas à gestão do processo de desenvolvimento de projetos.

Entretanto, mesmo no caso americano, a indústria da construção apresenta resultados abaixo da produtividade de outros setores. Segundo estudo de Teicholz (2004), a partir de dados do Departamento de Comércio Americano (US Dept. of Commerce), a produtividade da mão de obra da construção declinou nos últimos 40 anos (1964-2003) e, comparado com outros setores da indústria (exceto a indústria agrícola), houve um distanciamento ainda maior, pois estas últimas implementaram uma série de ações que incrementaram os seus resultados mais intensamente que na construção. Nesse mesmo trabalho, o autor argumenta que uma das razões é que a construção, diferentemente de outros setores, utiliza a tecnologia da informação de maneira fragmentada, exemplificando que o CAD 3D é uma das ferramentas capaz de introduzir benefícios para a integração de vários processos do ciclo de vida do edifício, desde a concepção à produção e manutenção.

Ainda nesta linha de pesquisas, estudos específicos do sub-setor no Brasil, como o Plano Estratégico para Ciência, Tecnologia e Inovação na área de Tecnologia do Ambiente Construído com ênfase na Construção Habitacional (FORMOSO, 2002), corroboram que o investimento em projeto tem o potencial de reduzir custos na produção e que o uso de tecnologias mais modernas, com especial destaque para sistemas CAD 3D, podem tornar o processo de desenvolvimento de projetos mais eficiente e eficaz. O mesmo estudo aponta também a necessidade de remoção dos

obstáculos para o uso das tecnologias da informação como uma das necessidades fundamentais para a melhoria do subsetor de construção de edifícios.

Esta pesquisa visa, no contexto descrito anteriormente, colaborar, em parte, para a remoção desses obstáculos, através da melhor identificação de possíveis vantagens do CAD 3D e apresentação de uma proposta para o uso desta tecnologia no desenvolvimento de projetos para produção de vedações e compatibilização.

Assim, dentre as possíveis vantagens da utilização de sistemas CAD 3D, destacam-se:

- Potencial redução de custo, em função da redução concomitante de erros e enganos decorrentes da deficiência de visualização espacial;
- Redução de tempo de desenvolvimento do produto, especialmente se utilizado um modelo único;
- Melhoria da qualidade da produção, em função da melhor percepção de detalhes construtivos, incluindo questões como a redução de riscos de acidentes, a otimização dos processos de produção e a redução de retrabalhos.

Além das vantagens acima descritas, a modelagem 3D é a base para o uso de tecnologias mais avançadas de visualização e integração no processo de projeto, tais como o CAD 4D, a realidade virtual (RV) e o BIM (*Building Information Modeling*) (ROWLINSON; HADIKUSUMO, 2000; RISCHMOLLER et al., 2000; YEOMANS; , BOUCHLAGHE; EL-HAMALAWI, 2006).

1.1. Organização do trabalho

A dissertação está organizada em cinco partes, contemplando: introdução, revisão da literatura, desenvolvimento e resultados da pesquisa, proposta de processo para o uso do CAD 3D e conclusões.

O capítulo de introdução inclui este tópico sobre a organização do trabalho, a delimitação da pesquisa e objetivos, a justificativa para o tema abordado e o planejamento da pesquisa.

O capítulo referente à revisão da literatura procura destacar o que há disponível em termos de CAD em geral e na construção de edifícios. Também são investigadas pesquisas sobre processo de projeto, o projeto de produção de vedações e a compatibilização.

O terceiro capítulo descreve os procedimentos da pesquisa e seus resultados envolvendo um estudo de caso piloto, um levantamento de dados e um experimento exploratório, como estratégias para a busca de evidências no sentido de sustentar a proposta apresentada para a utilização do CAD 3D no desenvolvimento de projetos de vedações verticais.

O quarto capítulo apresenta a proposta, propriamente dita, de um processo de projeto de vedações que utiliza o CAD 3D como ferramenta para o seu desenvolvimento e compatibilização com os demais subsistemas com os quais faz interface.

Por fim, são apresentadas, no quinto e último capítulo, as principais conclusões e uma perspectiva para pesquisas futuras.

1.2. Delimitação da Pesquisa e Objetivos

A pesquisa visou avaliar os possíveis benefícios do CAD 3D no processo de desenvolvimento de projetos. Em especial, optou-se por abordar as questões de pesquisa usando como referência o projeto de produção de vedações verticais. Este tipo de projeto, introduzido no mercado brasileiro em fins da década de 1980 (SILVA, 2003), associa o seu desenvolvimento à compatibilização com as demais disciplinas de projeto para a produção de edifícios. Sendo a compatibilização uma das atividades que mais pode se beneficiar do CAD 3D, essa categoria foi escolhida como alvo deste estudo.

1.2.1. Justificativas

O CAD 3D hoje é considerado uma tecnologia da informação consolidada. Alguns setores da indústria já a utilizam como parte do processo de desenvolvimento do produto, como o aeronáutico (BERNARDES, 2000) e o automobilístico (RUTKAUSKAS; SANTOS, 2006). A construção de edifícios, entretanto, é considerada um setor pouco industrializado e bastante conservador em relação às inovações tecnológicas (SCHEER et al., 2007).

A despeito deste quadro, já há algum tempo pesquisa de Shih (1996) apontou que a coordenação de projetos baseada em representações bidimensionais consome um tempo significativo do processo de desenvolvimento de projetos. Além do consumo de tempo em uma atividade de gestão, relativamente cara, o método em 2D carrega outras limitações, apontadas também no trabalho de Shih (1996), tais como pouca consistência entre as diversas informações (em planta, corte e elevação) e baixa eficiência na produção de desenhos.

Ao mesmo tempo que ainda se utiliza pouco o CAD 3D na construção de edifícios, há várias pesquisas no mundo em andamento a respeito de tecnologias mais avançadas, como o CAD 4D (GAO et al., 2005) e o CAD nD (LEE et al., 2003). Além disso, no momento atual, despontam no mercado produtos comerciais que se valem do conceito de um modelo integrado de informação do edifício, o BIM (*Building Information Modeling*) (AUTODESK, 2005; COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR CONSTRUCTION INNOVATION, 2007). Os resultados destas pesquisas e esses produtos emergentes dependem do domínio sobre o uso do CAD 3D no processo de projeto.

1.2.2. Objetivo Geral

Apresentar e analisar uma proposta para o uso do CAD 3D como uma alternativa aos métodos tradicionais de representação em 2D, para a compatibilização espacial em projetos para produção de vedações verticais em construção de edifícios.

1.2.3. Objetivos Específicos

A partir do objetivo geral desta pesquisa, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Comparar a eficiência e a eficácia entre os métodos apoiados por CAD 3D e CAD 2D para a compatibilização espacial;
- Identificar as limitações da representação 2D no processo de desenvolvimento de projetos;
- Avaliar, qualitativamente, do ponto de vista do projetista, o uso dos modelos em CAD 3D no processo de compatibilização de projetos;
- Propor um processo de projeto em que a compatibilização é realizada com o emprego do CAD 3D.

1.3. Método de Pesquisa

A questão de pesquisa desse trabalho, que evoca “por quê” ou “como” na sua formulação, possibilita conduzir a estratégia de pesquisa com estudos de caso ou experimentos com propósitos exploratórios, “tendo como objetivo o desenvolvimento de hipóteses e proposições pertinentes a inquirições adicionais” (YIN, 2001, pág. 25). Ou seja, diante dos objetivos identificados, buscou-se organizar o método de pesquisa tendo-se em vista obter evidências que sustentassem a proposição de um modo de utilização do CAD 3D de forma mais eficiente e eficaz que a ferramenta de CAD 2D atualmente empregada em projetos.

Assim, a pesquisa foi dividida em três momentos distintos, que precederam a proposta de um processo de projeto baseado no CAD 3D, quais sejam:

- Estudo de caso piloto, através do acompanhamento de um mesmo projeto desenvolvido por dois escritórios distintos, um com base tecnológica no CAD 2D e outro em CAD 3D;

- Levantamento de dados em um conjunto de projetos para produção de vedações, com a finalidade de identificar as limitações da representação 2D;
- Execução de um experimento exploratório, tendo em vista avaliar qualitativamente a percepção de projetistas em relação ao uso de modelos 3D.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Procurou-se na revisão da literatura abranger alguns pontos importantes para a compreensão das tecnologias CAD e de gestão do projeto. Assim, são descritas a seguir, sumariamente, as tecnologias CAD disponíveis atualmente e, com destaque, o emprego do CAD 3D em projeto de edifícios. Em seguida, no que se refere à gestão de projetos, buscou-se compreender algumas visões sobre processo de projeto, projeto para produção de vedações verticais e compatibilização.

2.1. Tecnologias CAD

Os sistemas CAD podem ser interpretados de duas formas: *Computer Aided Drafting* ou *Design*. A primeira interpretação está relacionada ao auxílio pelo computador na representação gráfica tradicional no processo de projeto na prancheta. A partir da formação mental do espaço, o projetista faz diversas representações em plantas, cortes, elevações e mesmo em perspectivas no plano, a fim de compreender o seu objeto de projeto. Na segunda interpretação do *design*, sejam em representações bidimensionais ou tridimensionais, os sistemas possuem funções automáticas para auxiliar o projetista nas suas necessidades de tomadas de decisões. Incluem-se, neste caso, funções que vão desde cálculo de áreas, perímetros e volumes, até soluções mais avançadas de sistemas integrados de informação. Desse segundo entendimento, desdobram-se, por exemplo, o CAE (*Computer Aided Engineering*) e o CAAD (*Computer Aided Architectural Design*).

2.1.1. CAD 2D

O método de desenvolvimento de projetos baseado na representação gráfica bidimensional envolve a elaboração de plantas, cortes e elevações, como recurso para análise e, ao mesmo tempo, para a representação final da solução. Os projetistas envolvidos no projeto inferem, a partir das representações bidimensionais,

as formas e detalhes da construção no espaço durante suas análises. Nesse sentido, a maior parte das informações é registrada mentalmente pelo projetista e pelos demais envolvidos no projeto, levando-os ao exercício contínuo da abstração e da memorização.

O método de projeto que utiliza o CAD 2D é muito semelhante ao da representação tradicional na prancheta. No CAD 2D, mesmo sendo possível a introdução de automação no processo, o resultado são sínteses na forma de representação de plantas, cortes e elevações que reduzem a informação do volume espacial. Do mesmo modo, o projetista e outros envolvidos são obrigados a realizarem inferências para o entendimento do projeto. A diferença no CAD 2D são as possibilidades de automação de atividades ou mesmo processos repetitivos, bem como recursos de visualização mais dinâmicas, como o *zoom*, mesmo que limitada a um ponto de vista isolado.

2.1.2. CAD 3D

A criação de um modelo em 3D pode ser feita através de três técnicas: modelo de arestas ou aramado, composição por superfícies e sólidos. A seguir, são descritos sumariamente os três técnicas.

O modelo aramado pode ser construído posicionando-se no espaço elementos bidimensionais, tais como linhas, polígonos, círculos, elipses, arcos e suas composições. A Figura 1 exemplifica um modelo construído com polígonos, linhas, círculos e arcos para representar um diagrama de tubulação e suas simbologias no espaço 3D. O processo envolve a criação de elementos bidimensionais e o seu posicionamento relativo no espaço. Dessa forma, é possível perceber que o 2D torna-se mais trabalhoso para que sua representação seja transposta para o espaço.

Um dos maiores problemas do modelo aramado é a ambigüidade. Ao observar um cubo, é difícil identificar o ponto de vista preciso do observador, uma vez que nesse modelo o interior e o exterior não são separados (Figura 2).

Figura 1 – Modelo em arame, contendo linhas 3D e simbologia 2D (AUTODESK, 1995, pág. 429)

Figura 2 – Imagem de um cubo em 3D.

O segundo modelo para 3D, de malhas de superfícies, usa a composição de faces planas. Para a criação de superfícies curvas, utilizam-se faces de dimensões proporcionalmente pequenas, de tal forma que suavemente revelam o contorno do objeto. Este tipo de representação permite esconder o que está atrás, uma vez que a superfície pode se tornar um plano opaco. Esta característica reduz bastante a ambigüidade dos modelos aramados, porém podem tornar a modelagem trabalhosa em formas muito complexas.

A terceira técnica para CAD 3D é a que utiliza tecnologias de modelagem de sólidos. Uma das características desse modelo é que representa todo o volume do objeto. Os modelos sólidos são mais completos e precisos, possibilitando a criação de formas mais complexas através de construção e edição, em geral, mais simples.

As facilidades de construção e edição de um objeto sólido estão principalmente nos recursos de aplicar operações booleanas para combinar sólidos (união, subtração e intersecção) para a composição de modelos tridimensionais através de sólidos de formas básicas (Figura 3) e efetuar cortes, chanfros e arredondamentos. É possível

também fazer rapidamente seções que, por sua vez, podem ser extrudadas em novos sólidos. Estes procedimentos, relativamente simples, amplificam as possibilidades de criação e edição de modelos sólidos.

Figura 3 – Seqüência de operações booleanas (SANTOS, 1994, p. 28).

Através desses recursos, também é possível analisar automaticamente interferências entre dois sólidos, pela própria natureza das tecnologias utilizadas. Neste caso, o sólido ocupa virtualmente todas as coordenadas do espaço a ele reservado, possibilitando o cálculo de possíveis interferências espaciais. Em geral, é possível gerar um novo sólido, resultado da intersecção de vários sólidos, facilitando sobremaneira a visualização de interferências espaciais.

A modelagem por sólidos é a mais adequada para uso em AEC, já que permite a construção mais rápida dos modelos e devido à necessidade de se considerar o volume dos objetos.

2.1.3. Técnicas de representação em CAD 3D

São quatro as principais técnicas de representação em CAD 3D:

- Instanciação de primitivos;

- Geração por varredura;
- *CSG (Constructive Solid Geometry)* ou Geometria de Sólidos Construtivos
- Modelagem por *features*.

A instanciação de primitivos é uma técnica de modelagem, em que formas ou objetos padrões são disponibilizados pela aplicação CAD, tais como cubos, esferas, cones, etc.

A geração por varredura consiste em definir uma superfície ou volume no espaço pelo deslocamento de uma forma bidimensional (geratriz). Há duas técnicas de varredura: a translacional e a rotacional (Figura 4). A varredura translacional é a extrusão longitudinal à geratriz. O termo extrusão é usado porque esse tipo de varredura é muito semelhante à extrusão industrial, em que um material maleável passa por uma abertura e adquire a sua forma longitudinalmente.

Figura 4 – Geração de sólidos por varredura rotacional e translacional, respectivamente (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2006, p.75).

A varredura rotacional é quando a geratriz é rotacionada em torno de um eixo. A varredura rotacional tem o seu correspondente industrial no processo de torneamento.

Tanto a instanciação de primitivos quanto a varredura são técnicas utilizadas na modelagem por superfícies e por sólidos.

Utilizando-se a técnica de modelagem por Geometria de Sólidos Construtivos (CSG), a construção dos objetos é feita através da combinação de sólidos primitivos, através operações booleanas. As operações booleanas são: união, intersecção e

subtração. Os sólidos primitivos geométricos mais comuns são: esfera, paralelepípedo, cone, cilindro, toróide e cunha.

Features, em inglês, quer dizer recurso, característica ou função especial. A modelagem por *features* diz respeito à modelagem com recursos especialmente desenvolvidos em função de um processo de produção. Isto é típico da engenharia mecânica, em que o CAD possui uma série de recursos especificamente desenvolvidos, como chanfros, furos com rebaixo etc.

2.1.4. O CAD 3D Paramétrico e o BIM

Há duas tecnologias importantes e recentes em termos de CAD, no sentido do processo de desenvolvimento de projeto e do produto: modelagem paramétrica e o *BIM* (*Building Information Modeling*). A modelagem paramétrica baseia-se no projeto dos objetos através de seus relacionamentos dimensionais. Um exemplo interessante na construção de edifícios é o cálculo de escadas. Existem parâmetros máximos e mínimos para a altura e largura de um degrau, que é definida através de uma equação. Essa equação pode ser utilizada para o CAD representar o modelo 3D da escada, calculando o número de degraus necessários. Desta maneira, o processo de projeto torna-se muito mais simples do que através da modelagem pelos procedimentos anteriormente descritos, por sólidos ou faces (AUTODESK, 2005).

O BIM é um modelo de informação do edifício, cujo conceito é tratar a informação da construção desde a concepção até à utilização, manutenção e demolição. Para isso, todo e qualquer componente deve ser descrito de forma integrada não só aos aspectos geométricos, mas também a todos os aspectos de uso da edificação (COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR CONSTRUCTION INNOVATION, 2007). Em geral, o BIM se vale das tecnologias de parametrização, porém possui um espectro mais amplo do ciclo de vida da construção

2.2. Emprego de CAD 3D no projeto de Edifícios

Diversas pesquisas indicam que a eficiência da comunicação entre os envolvidos no grupo de projeto tem efeito direto na qualidade da gestão de seu processo (TZORTZOPOULOS, 1999), sendo a tecnologia da informação uma das ferramentas capazes de colaborar nesse sentido.

Thomas, Macken e Lee (2001) analisaram o uso de tecnologias da informação em desenvolvimento de projetos (D/IT) e a sua relação com o desempenho do projeto em obra. Os resultados desta pesquisa apontaram benefícios advindos do uso de tecnologia da informação (TI) em projeto, tanto para investidores quanto para construtores que obtiveram significativa redução de custos. As tecnologias de informação analisadas neste estudo foram: código de barras, bancos de dados integrados, sistemas de CAD 3D e EDI (troca de dados eletrônicos).

Em geral, a modelagem tridimensional no projeto de edifícios é utilizada apenas para a simples visualização do espaço (BJÖRK, 1995). Poucas empresas de projeto para construção de edifícios utilizam a modelagem tridimensional ou mesmo outras tecnologias da informação relacionadas, como realidade virtual e o CAD 4D (EASTMAN; SACKS; LEE, 2002; CHAAYA; JAAFARI, 2001). A prática comum, entretanto, é a utilização do CAD 2D, a fim de se obter o resultado final de documentação através da representação do conteúdo conceitual e/ou técnico, o que torna a informação fragmentada entre as diversas especialidades e seus documentos.

Uma pesquisa que chama a atenção, pelos dados muito recentes, foi feita por FMI Corporation (2005?), confirmando a baixa utilização do CAD 3D pelas empresas do setor de construção. Esta pesquisa, desenvolvida anualmente pela FMI Corporation, contou com o apoio da *Construction Management Association of America* (CMAA) e, conforme pode ser visto no Gráfico 1, mostra que apenas 4% das empresas utilizam o CAD 3D em todos os seus projetos e 46% nunca usa essa tecnologia, enquanto que a maioria, 10% e 40% respectivamente, utiliza na maioria dos projetos ou usa muito pouco o CAD 3D em seus projetos. A pesquisa envolveu grandes incorporadoras / proprietários do mercado americano, dos quais mais de 70% são

responsáveis por 20 ou mais projetos por ano e administram em conjunto mais de 21 bilhões de dólares. São também de responsabilidade da maioria dessas empresas a gestão do processo de projeto (72% assumem internamente a liderança em projeto, enquanto apenas 17% contratam externamente o serviço).

**Utilização do projeto em 3D em empreendimentos
AEC nos EUA (dados provavelmente de 2005)**

Gráfico 1 – Respostas à pergunta da pesquisa feita por FMI Corporation (2005, p. 17): “Relativamente ao uso do projeto em 3D, qual situação melhor descreve sua organização?” (Tradução desta pesquisadora)

Shih (1996) fez um estudo qualitativo comparando três métodos para desenvolvimento de projetos, em empresas que utilizavam CAD, quais sejam:

- CAD 2D, utilizando-se arquivos de desenho isolados;
- CAD 2D em arquivos isolados e posteriormente agregados por referência;
- CAD 3D, utilizando-se de representação de um modelo tridimensional e aplicação de arquivos por referência.

O estudo de Shih (1996) teve a finalidade de comparar os três métodos em relação a produção, revisão e análise no processo de projeto. Apesar de realizado há mais de 10 anos, o estudo desenvolvido por esse autor ainda é válido, haja vista que os métodos empregados no mercado ainda são essencialmente aqueles descritos no artigo.

Recente estudo de Sacks (2004) também apresenta resultados dos benefícios da tecnologia de CAD 3D (incluindo, neste caso, software com recursos de modelagem paramétrica) aplicada a projeto e detalhamento de construção com pré-fabricados de concreto. Dentre esses benefícios, encontram-se a redução de custos, redução de tempo e prevenção de erros na produção.

El-Mashaleh e O'Brien (2004) apresentaram estudo de que o investimento em TI tem o potencial de influir positivamente sobre o desempenho de empresas de construção. Os resultados deste estudo identificaram que os envolvidos no desenvolvimento de projeto (projetistas, investidores e construtores) tiveram uma percepção positiva entre o nível de aplicação de TI e desempenho geral da empresa, prazos e custos.

Além dos benefícios diretos advindos do uso de CAD 3D na visualização e na identificação de interferências espaciais, o reúso do modelo em outras aplicações, como a exemplo de uma simulação termal (GRAU; WITTCHEN; SORENSEN, 2003), auxilia a tomada de decisões durante o processo de desenvolvimento de projetos.

O CAD 3D é a base para a implementação de tecnologias mais avançadas como o CAD 4D (GAO, et al. 2005) e o CAD nD (LEE et al.) ou mesmo para possibilitar a liberdade de criação de formas arquitetônicas complexas (PENTTILÄ, 2006). O CAD 4D incorpora ao modelo tridimensional a dimensão do tempo, possibilitando a simulação da sequência construtiva. Já o CAD nD pode incluir, além do tempo, dimensões de custo, organização, processos de construção etc. No caso específico do CAD 4D, Gao et al. (2005) fizeram estudos em 21 projetos de construção que usaram o CAD 3D e apresentaram diversos benefícios advindos dessas duas tecnologias isoladamente e associadas. Os resultados indicaram a necessidade de se buscarem métricas para medir a implementação e os benefícios do CAD 3D e do CAD 4D.

Concluindo, é possível observar que o uso do CAD 3D ainda é heterogêneo na área de AEC. Há pesquisas muito avançadas, há disponibilidade de tecnologia em CAD 3D consolidada, mas que não se traduzem em uso efetivo pelos profissionais de arquitetura, engenharia e construção. As respostas a esta situação podem estar na pouca demanda exigida pelos produtos desenvolvidos pelo setor. Porém, essa

situação pode se tornar diferente, se o cliente final exigir construções mais complexas para satisfazer às novas necessidades de uso do espaço, seja para moradia, trabalho ou, simplesmente, para o lazer.

2.3. Processo de Projeto

O conceito de processo está relacionado a um conjunto coerente de ações com a finalidade de se alcançar um determinado objetivo. Entretanto, diversas visões são desenvolvidas sobre o conceito de processo aplicado a projetos específicos. Desta forma, pretende-se apresentar algumas dessas visões sobre processo de projeto.

A seguir são apresentadas três abordagens em relação ao processo de projeto:

- Lockhart e Johnson (2000) trazem uma visão do processo de projeto através da representação gráfica, mais especificamente a representação geométrica, seja em 2D, seja em 3D.
- Melhado (1994) e Silva e Souza (2003) abordam o processo de projeto sob a ótica do ciclo do desenvolvimento do produto, desde a concepção à utilização e manutenção do mesmo.
- E a norma NBR 13531/1995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995) apresenta uma visão mais limitada, referindo-se apenas à descrição das “atividades técnicas”, com foco nos produtos de entrega de etapas.

Para Lockhart e Johnson (2000), o processo de projeto apresenta-se como uma iteração entre a identificação do problema e idealização de uma ou mais soluções, seguida por um processo de decisão e seleção da solução de projeto. Após a seleção da solução, segue-se para outro processo iterativo de refinamento e análise, com novo processo de decisão e seleção mais apurada das soluções de projeto. Tomadas as decisões finais, passa-se ao detalhamento e documentação das soluções. A Figura 5 apresenta a estrutura desse processo de projeto.

A representação gráfica, no processo de projeto apresentado por Lockhart e Johnson (2000, p. 5), possui três vertentes: **visualização** da idéia proposta para

solução do problema identificado, **comunicação** da idéia para que os demais envolvidos (mesmo que seja apenas um cliente) possam avaliá-la e a **documentação** do projeto para que este possa ser produzido e mantido posteriormente.

Figura 5 – Processo de Projeto (LOCKHART; JOHNSON, 2000)

Outra forma de descrever o processo de projeto é através de uma abordagem do desenvolvimento do produto, que vai desde a concepção até o uso da construção. A seguir são apresentados alguns exemplos na literatura dessa visão.

Segundo Melhado (1994, p. 185):

O processo passa por etapas conceitualmente progressivas, onde a liberdade de decisão entre alternativas vai sendo gradativamente substituída pelo detalhamento das soluções adotadas:

- idealização do produto: a formulação do empreendimento ocorre a partir de uma primeira solução que atenda a uma série de necessidades e restrições iniciais colocadas (Programa de Necessidades);
- análise de viabilidade: a solução inicial é avaliada, segundo critérios estabelecidos previamente, contemplando aspectos de custo, tecnologia, adequação ao usuário e às restrições legais correspondentes; o processo é iterativo até que seja encontrada a solução definitiva, a qual será traduzida em um Estudo Preliminar que servirá de ponto de partida para o desenvolvimento do projeto;
- formalização: a solução adotada toma forma, resultando ao final dessa etapa no nível de anteprojeto;
- detalhamento: são elaborados, conjunta e iterativamente, o detalhamento final do produto (que resulta no Projeto Executivo) e a análise das necessidades vinculadas aos processos de execução, esta última dando origem ao Projeto para Produção;

- planejamento e execução: a partir do Projeto para Produção, faz-se o planejamento das etapas de execução da obra, a qual passa a ser conduzida dentro dos procedimentos da empresa e com a assistência da equipe de projeto durante todo o período;
- entrega: o produto é passado às mãos do usuário, que terá a assistência técnica da construtora na fase inicial de uso, operação e manutenção, onde serão coletadas informações para a retroalimentação necessária à melhoria contínua do processo.

Silva e Souza (2003), sob a abordagem da gestão da qualidade, descrevem o processo de projeto de empreendimentos imobiliários em oito fases, tendo como pré-requisito o planejamento estratégico do negócio, quais sejam:

- Fase I – Planejamento do empreendimento;
- Fase II – Concepção do Produto;
- Fase III – Desenvolvimento do Produto, dividido nas etapas de anteprojeto, projeto legal, projeto pré-executivo, projeto executivo e detalhamento e projeto de produção;
- Fase IV – Entrega final do Projeto;
- Fase V – Acompanhamento técnico da obra;
- Fase VI – Desenvolvimento do Projeto “As Built”;
- Fase VII – Acompanhamento técnico e elaboração dos documentos para o manual do usuário;
- Fase VIII – Avaliação da satisfação do cliente final.

Uma outra visão é a focada nos produtos das etapas do desenvolvimento de projeto. Este é o caso da norma técnica NBR 13531/1995 (ABNT, 1995) que especifica as seguintes etapas de atividades técnicas:

- Levantamento;
- Programa de necessidades;
- Estudo de viabilidade;
- Estudo Preliminar;

- Anteprojeto e ou Pré-Execução;
- Projeto legal;
- Projeto básico;
- Projeto para execução.

2.4. O Projeto para Produção de Vedações

Uma das principais experiências que possibilitou a criação do Projeto para Produção de Alvenaria de Vedações, por volta do final da década de 80 e início dos anos 1990, envolveu a experiência de uma grande construtora com a Escola Politécnica da USP, através de um convênio de desenvolvimento tecnológico (SILVA, 2003).

Nessa ocasião, tomaram-se algumas decisões de produção que, de certa forma, influíram decisivamente para que o Projeto de Alvenaria se tornasse o elo de ligação para a racionalização entre os diversos subsistemas com os quais faz interface. Entre essas decisões, pode-se citar a execução simultânea de instalações elétricas e, em alguns casos, da instalação hidráulica.

Nesse novo contexto, o Projeto de Alvenaria é lançado no mercado como um serviço que associa a racionalização da construção e a compatibilização entre os subsistemas com os quais a mesma faz interface. Ainda nessa linha de evolução, o Projeto de Vedações promove o aparecimento de atividades de coordenação de projetos desvinculada das funções do projetista de arquitetura, e passa a se tornar um instrumento no processo de compatibilização e integração sistêmica, bem como com a produção (SILVA, 2003).

O Projeto de Vedações fornece uma série de documentos para a execução das paredes. Uma característica é a execução das alvenarias em blocos ao mesmo tempo que as instalações, principalmente a elétrica, de maneira que os conduítes são “vestidos” pelos furos dos blocos. Em outros casos, são deixados espaços (com blocos de diferentes espessuras) para a instalação da hidráulica. A partir dessas diretrizes, é necessário que as instalações que passam pela estrutura também sejam

locadas pelo projeto de alvenaria. A Figura 6 ilustra um trecho de parede com elétrica passando por dentro dos furos do bloco e a instalação hidráulica na última fiada, a ser ajustada com blocos de diferentes espessuras.

Figura 6 – Parte de alvenaria com elétrica embutida e passagens de hidráulica na última fiada.

Em geral, o Projeto de Vedações contempla:

- Plantas de marcações de furações para instalações na estrutura;
- Plantas de marcações de primeira fiada, com identificação;
- Esquema de níveis das fiadas de alvenaria (galga da alvenaria);
- Elevações de cada parede;
- Detalhes gerais de vergas, contravergas e outras peças pré-moldadas.

Dueñas Peña (2003) propôs um método específico de processo para projetos para produção de vedações verticais em alvenaria. A autora caracteriza o desenvolvimento de projetos para produção de vedações em etapas sequenciais, da seguinte forma:

- Etapa 1 – Dados Iniciais: Esta etapa visa estabelecer os primeiros contatos entre o contratante e o projetista de vedações, para o estabelecimento dos limites, diretrizes e produtos para o desenvolvimento de projeto;
- Etapa 2 - Estudo Preliminar: A partir da etapa anterior, o projetista de vedações elabora os primeiros estudos, incluindo a análise dos demais projetos de arquitetura e estrutura, com vistas à compatibilização entre estes e as definições gerais para o projeto de vedações (modulação vertical e horizontal);
- Etapa 3 – Anteprojeto: Esta etapa visa a análise e compatibilização dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações, considerando a etapa de análise anterior e tendo como produto a elaboração de plantas de primeira e segunda fiadas e o refinamento da compatibilização;
- Etapa 4 – Projeto Executivo: A partir da discussão e eventual revisão dos projetos de arquitetura, estrutura e instalações, esta etapa visa fechar o processo de compatibilização e a elaboração das plantas de marcações do projeto de vedações.
- Etapa 5 – Detalhamento: Esta etapa visa a elaboração final dos detalhes construtivos e das elevações, considerando que todas as demais interferências foram resolvidas.
- Etapa 6 – Implantação, acompanhamento e retroalimentação: Esta etapa visa a entrega à obra do projeto de vedações e o seu acompanhamento para orientações de uso do mesmo.

O método proposto por Dueñas Peña (2003) tem por objetivo principal apresentar conteúdo de soluções técnicas para o projeto de alvenaria, com foco na representação final da informação em 2D. Observa-se também que a proposta está em um nível alto de abordagem, envolvendo propostas das necessidades dos clientes internos e externos em relação ao projeto de vedações.

2.5. Compatibilização

A palavra “compatibilização” não é identificada facilmente na maioria dos dicionários. Encontram-se as palavras “compatibilidade” ou “compatível”. Entretanto, a expressão é utilizada em várias áreas do conhecimento para o processo que tem por objetivo tornar diferentes “coisas” compatíveis entre si.

A compatibilização entre os diversos projetos tem sido preocupação tanto das empresas, quanto de estudos acadêmicos. Em algumas empresas, essa atividade tem sido destacada do processo de desenvolvimento de projetos e trazida para o mesmo nível que a coordenação, colocando-se por vezes, inclusive, como atividades de mesma natureza (PICORAL, 2002; RODRÍGUEZ, 2005).

A preocupação com as atividades ligadas à compatibilização não é sem razão. Este subprocesso é parte intrínseca do refinamento e análise (LOCKHART; JOHNSON, 2000) no processo de desenvolvimento de projetos. Considerando-se estudos como o do Construction Industry Institute¹ (1987 apud MELHADO; AGOPYAN, 1995) de que a capacidade de influenciar os custos finais do empreendimento reduz-se na medida em que o projeto avança nas diversas fases do desenvolvimento do produto, sendo de fundamental importância introduzir melhorias de eficiência e eficácia nos processos de projeto (Figura 7).

Para Silva e Souza (2003, p. 94), entretanto, a Coordenação e o Gerenciamento de Projetos é responsável pelo “controle de interfaces de projeto”, através da

“Caracterização de todas as interfaces entre as especialidades presentes e estabelecimento de mecanismos para que cada projetista assegure que controlou suas soluções em relação às demais soluções do projeto como um todo e com o processo de produção.”

Desta forma, ainda segundo os autores (SILVA; SOUZA, 2003), a compatibilização é gerada pelos próprios projetistas, sob controle da Coordenação, que tem como uma de suas atribuições o estabelecimento de técnicas e até mesmo o uso de

¹ CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. Constructability:. 2.ed. Austin, 1987. (CII Publication n. 3-1)

tecnologias para garantir o controle das soluções de interface entre as diversas especialidades, incluindo questões relativas à produção.

Figura 7 – Capacidade de influência sobre os custos do empreendimento segundo o ciclo de vida do produto (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE, 1987 apud MELHADO; AGOPYAN, 1995)

Enquanto a literatura nacional trata de maneira recorrente questões relacionadas à compatibilização de projetos, não se identificou na literatura internacional referências sobre esse tópico, com a mesma terminologia. A literatura nacional, inclusive, traz diversas citações de artigos internacionais, sendo que a maioria usa termos relativos à “construtibilidade”. Desta forma, além de questões relativas à atribuição de responsabilidade da compatibilização (se dos projetistas, se do coordenador de projetos), somam-se algumas dúvidas em relação aos conceitos de “compatibilização” e “construtibilidade”. Por exemplo, para Ganah, Bouchlaghem e Anumba (2005), a construtibilidade está associada às interfaces entre os componentes e sistemas construtivos, bem como conflitos oriundos da informação gráfica apresentada pelos especialistas.

Uma outra abordagem, identificada principalmente na literatura nacional, é o relacionamento entre “compatibilização” e a “inspeção de qualidade”, em que o Coordenador de Projetos faz verificações e até mesmo a própria compatibilização, num processo à parte das atividades dos projetistas.

Bordin (2003) destaca que em sua pesquisa muitos entrevistados da área de construção de edifícios acreditam que a compatibilização deva ser feita por um profissional especialmente contratado para essa função, enquanto outros acreditam

que essa função, no processo de elaboração dos projetos, deve ser exercida pelos próprios especialistas. No geral, entretanto, observa-se que a divisão entre os especialistas pode incorrer em uma atuação cujas soluções de interface são colocadas em segundo plano, e os profissionais passam a ter foco na concepção de sua área específica.

No contexto desta pesquisa, considera-se a compatibilização como intrínseca às atividades de projeto, sendo a coordenação responsável por garantir, através de um processo de gestão, a consecução eficiente e eficaz do desenvolvimento do projeto.

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, através das quais se buscou identificar possíveis vantagens do uso do CAD 3D em projeto, comparando-se com o CAD 2D. Estas etapas envolveram um estudo de caso piloto, o levantamento de características dos projetos em 2D e, por fim, um experimento exploratório.

As primeiras possíveis vantagens que se procurou analisar foram relacionadas à eficiência, em termos de tempo, e eficácia, em termos de compatibilização espacial. Desta forma, o estudo de caso piloto foi conduzido com o uso do CAD 3D proposto neste trabalho, comparando-se com o CAD 2D.

Na segunda etapa, procurou-se identificar quais as características que predominam na representação em 2D e podem se constituir em limitações ao processo de projeto, em especial à compatibilização. Para isso, foram levantados os problemas identificados em relatórios de um escritório que desenvolve projeto de vedações em 3D e que utiliza representações em 2D como dado de entrada. O resultado foi a identificação de cinco características típicas dessas representações que limitaram a análise dos projetistas e que foram beneficiadas com a análise em CAD 3D.

Na terceira e última etapa, foram utilizadas essas características para o desenvolvimento de um experimento. Em um projeto real, no qual foram modelados em 3D diversos subsistemas (alvenaria, estrutura, hidráulica, elétrica e ar condicionado) a partir de modelos em CAD 2D, foram selecionados alguns problemas em que a limitação da representação em 2D contribuiu para a não identificação de incompatibilidades pelos projetistas envolvidos. Em seguida, estes projetistas foram solicitados para que observassem a representação em CAD 2D e os respectivos modelos em CAD 3D e comentassem suas percepções em relação à compatibilização espacial. O resultado foi uma validação qualitativa dos benefícios da representação em 3D no processo de projeto.

3.1. Estudo de Caso Piloto

O estudo de caso piloto² teve como objetivo comparar o método proposto para o uso do CAD 3D em relação ao CAD 2D, no processo de compatibilização. Para tanto, foi acompanhado o desenvolvimento de um mesmo projeto por dois escritórios diferentes que usam essas tecnologias. Inicialmente, esperava-se que o CAD 3D fosse menos eficiente, portanto mais demorado, e ao mesmo tempo que fosse mais eficaz, no que se refere à compatibilização, uma vez que a percepção de interferências seria um procedimento automático. O resultado foi o contrário do esperado, ou seja, o projeto feito em CAD 3D, segundo o método que será apresentado no capítulo 4, foi mais rápido e a eficácia na compatibilização foi praticamente a mesma que em 2D.

3.1.1. Os escritórios de projetos e a organização das equipes

O estudo de caso envolveu dois escritórios especializados em projetos de vedações e compatibilização, na cidade de São Paulo. Um dos escritórios, neste trabalho chamado de “Escritório 2D”, desenvolve seus projetos utilizando o CAD 2D, enquanto que o outro, chamado “Escritório 3D”, desenvolve seus projetos com o CAD 3D, com o método a ser proposto neste trabalho. Ambos os escritórios utilizam o AutoCAD® como ferramenta para o auxílio no desenvolvimento de seus projetos.

Para o estudo de caso, o Escritório 2D indicou um de seus projetos contratados e o desenvolveu dentro de seus processos internos. O Escritório 2D foi monitorado periodicamente para que fossem colhidos os dados relacionados ao processo de projeto.

O Escritório 3D desenvolveu o mesmo projeto de acordo com seu método de trabalho baseado na modelagem tridimensional. Normalmente, no Escritório 3D, o

² Esse estudo de caso piloto foi desenvolvido no período de maio a agosto de 2004, inserido dentro de um projeto de pesquisa parcialmente financiado pela FAPESP, através do Programa de Inovação Tecnológica para Pequenas Empresas (PIPE), sob o processo 01/13304-0.

projeto é desenvolvido por projetistas de vários níveis de experiência, a saber: estagiário (projetista em treinamento), projetista júnior e projetista pleno e/ou sênior. Neste caso, em especial, um único projetista exerceu os diversos papéis, tendo sido anteriormente um projetista em treinamento no escritório e, hoje, está capacitado a exercer a função de projetista pleno.

A Tabela 1, a seguir, apresenta as características dos escritórios do estudo de caso.

Tabela 1 – Características dos escritórios do estudo de caso (FERREIRA; SANTOS, 2004)

Característica	Escritório 2D	Escritório 3D
Serviços prestados	Projeto de Vedações, Projeto de Alvenaria Estrutural, Projeto de Estruturas, Projeto para Produção de Revestimentos, Compatibilização e Coordenação Técnica de Projetos	Projeto de Vedações e Compatibilização
Método para desenvolvimento do projeto de vedações	Tradicional (2D)	Modelagem 3D
Tempo de atuação no mercado	7 anos	10 anos
Software usado no estudo de caso	AutoCAD R14	AutoCAD 2000i e AutoCAD R14 com algumas rotinas desenvolvidas internamente para automação do projeto de vedações em 3D.
Hardware usado no estudo de caso	Pentium III@500MHz e Duron@950MHz ambos com 128M RAM	Pentium IV@3GHz com 512M RAM e AMD K6 II@500MHz com 320M RAM
Quadro de pessoal que desenvolveu atividades computadas no estudo	01 projetista (não exclusivo) e 02 estagiários (exclusivos para o caso) pertencentes ao quadro fixo.	01 projetista terceirizado (alocado exclusivamente para o caso), já treinado para projeto em 3D.

A equipe envolvida pelo Escritório 2D no desenvolvimento do projeto deste estudo de caso contou com um projetista e com dois estagiários que participaram das tarefas relacionadas ao caso. O projetista tinha 22 anos, formado Técnico em Edificações em 2000 e, na ocasião, era graduando em Engenharia Civil (3º ano). O Projetista-Coordenador estagiou no escritório por dois anos e, em seguida, tinha assumido as funções de Coordenador de Projetos, reportando-se diretamente a uma arquiteta que gerencia os projetos de vedações. O Projetista-Coordenador exercia suas atividades envolvendo-se ao mesmo tempo em 3 a 6 projetos. Entretanto, em um mesmo dia, o Projetista-Coordenador informou que atua no máximo em 3 projetos. Já os estagiários geralmente trabalham em apenas um projeto por vez e só passam para outro projeto em casos emergenciais ou após a conclusão do projeto para o qual foram designados.

O Estagiário 1, com 18 anos e formado Técnico em Edificações em 2003, atuou em 56% do tempo das atividades coletadas. O Estagiário 2, com 19 anos e formado

Desenhista Técnico em Construção Civil em 2003, atuou em 16% das atividades. O Coordenador de Projetos atuou em 28% das atividades, concentrando-se em conferências e finalizações de atividades, incluindo correções em projeto.

O Escritório 3D não tinha funcionários fixos e terceirizava os serviços de modelagem tridimensional de subsistemas a profissionais treinados na empresa. Os estagiários, que variavam de dois a oito, dependendo da demanda de serviços na empresa, eram contratados para executar tarefas que exercitassem partes das atividades ligadas à modelagem tridimensional, tendo por objetivo capacitá-los à prestação de serviços para a empresa no futuro.

O Escritório 3D, através de um projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), dentro do Programa de Inovação Tecnológica para Pequenas Empresas (PIPE), desenvolveu o mesmo projeto contratado ao Escritório 2D, exclusivamente para fins deste estudo de caso. Neste escritório, apenas uma Projetista foi envolvida. A Projetista tinha 26 anos, formada em Arquitetura em 2002, e foi estagiária no escritório durante 2 anos e meio. Na ocasião deste estudo de caso, a Projetista atuava como prestadora de serviços, após se formar.

3.1.2. Descrição do empreendimento

O projeto do estudo de caso foi contratado ao Escritório 2D, que informou ao cliente sobre o trabalho de pesquisa e obteve deste a autorização para que fosse repassado ao Escritório 3D.

O Projeto de Vedações e Compatibilização envolveu apenas o pavimento tipo do empreendimento, sendo o sistema tecnológico baseado em alvenaria de blocos de concreto. Tratou-se de um edifício residencial com 6 apartamentos por andar, sendo 4 iguais e/ou rebatidos e os dois outros em posição relativa rotacionada. A Figura 8 apresenta o esquema geral de distribuição dos tipos de apartamentos no pavimento. O total de paredes identificado pelo Escritório 3D foi de 148, sendo que 69 paredes eram únicas e deram origem às demais, por serem idênticas ou “espelhadas”.

Para o desenvolvimento do projeto, o Escritório 3D recebeu os projetos de arquitetura, estrutura e instalações, bem como seus respectivos detalhes, referentes apenas ao pavimento tipo.

Figura 8 - Esquema geral da planta do pavimento tipo objeto do estudo de caso.

3.1.3. Coleta dos dados

Os dados foram coletados a partir de planilhas, contendo campos para registro de identificação do executor, data, horários de início e fim (hh:mm) e breve descrição da atividade. As planilhas foram preenchidas pelos participantes do estudo de caso, orientados para registrar as atividades sempre que houvesse início ou interrupção das mesmas. No total, foram computados mais de 200 registros. A seguir, a Figura 9 e a Figura 10 apresentam trechos dos dados coletados dos Escritórios 2D e 3D.

Foi tomado o cuidado para que as equipes que desenvolveram o projeto nos Escritórios 2D e 3D nunca se encontrassem ou trocassem qualquer tipo de informação, mesmo através de terceiros, durante a execução do estudo de caso. Esta medida teve a intenção de isolar a tomada de decisão por parte dos envolvidos, evitando-se que a comunicação influenciasse no tempo das atividades de projeto.

RESP	DATA	INICIO	FIM	TEMPOM	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE
Proj I	21/06/04	8:20	9:14	0:54	Criação do arquivo base de estrutura ao padrão
Proj I	21/06/04	9:20	12:20	3:00	Reproveitamento da planta de arquitetura
Proj I	22/06/04	9:16	10:12	0:56	Reproveitamento da planta de arquitetura
Proj I	22/06/04	10:25	12:20	1:55	Reproveitamento da planta de arquitetura
Proj I	23/06/04	8:19	9:30	1:11	Cotagem do projeto
Proj I	23/06/04	9:54	11:10	1:16	Cotagem do projeto
Proj I	23/06/04	11:10	12:26	1:16	Criação do estudo de modulação vertical e de altura de peitoril e locação
Proj II	23/06/04	10:00	12:00	2:00	-LOCAÇÃO DOS FUROS PARA HIDRÁULICA.
Proj I	24/06/04	8:23	11:25	3:02	Criação do estudo de modulação vertical e de altura de peitoril e locação
Proj II	24/06/04	13:30	16:00	2:30	-LOCAÇÃO DOS FUROS PARA HIDRÁULICA.
Proj II	24/06/04	9:15	12:30	3:15	-MODULAÇÃO DE 1º E 2º FIADAS
Proj II	24/06/04	13:30	15:30	2:00	-MODULAÇÃO DE 1º E 2º FIADAS
Proj II	25/06/04	9:00	12:10	3:10	-MODULAÇÃO DE 1º E 2º FIADAS
Proj II	25/06/04	13:30	15:15	1:45	-MODULAÇÃO DE 1º E 2º FIADAS
Coord	27/06/04	16:00	17:00	1:00	Verificação da planta de Conferência
Proj I	28/06/04	8:23	8:44	0:21	Correção da planta de conferência
Proj I	28/06/04	9:10	11:50	2:40	Correção da planta de conferência
Proj II	28/06/04	9:15	11:05	1:50	-MODULAÇÃO DE 1º E 2º FIADAS E LOCAÇÃO DE TELAS
Proj II	28/06/04	13:40	15:40	2:00	LOCAÇÃO DOS FUROS DE PSSAGEM DE ELÉTRICA
Proj I	29/06/04	8:20	10:13	1:53	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj I	29/06/04	10:13	12:20	2:07	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj II	29/06/04	8:40	13:40	5:00	LOCAÇÃO DOS FUROS DE PSSAGEM DE ELÉTRICA
Coord	30/06/04	12:00	14:25	2:25	Verificação dos projetos externos e desenvolvimento do relatório de
Coord	30/06/04	15:00	15:50	0:50	Verificação dos projetos externos e desenvolvimento do relatório de
Coord	30/06/04	16:10	17:50	1:40	Verificação dos projetos externos e desenvolvimento do relatório de
Proj I	30/06/04	8:20	10:28	2:08	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj I	30/06/04	10:58	12:31	1:33	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj II	30/06/04	9:15	11:15	2:00	-PASSAGEM DE ELETRODUTOS
Proj II	30/06/04	11:30	13:00	1:30	ELEVAÇÕES DE ALVENARIA

Figura 9 - Parte da planilha de coleta de dados do Escritório 2D

Entretanto, observou-se no escritório 2D a atuação de atividades de gerência (incluindo reuniões com a equipe), bem como atividades para realização de modificações resultantes de decisões da gerência. A partir da identificação clara dessas atividades, optou-se por não se computar os registros referentes à funções de gerência neste estudo, mesmo havendo evidências de que essa ação tenha promovido melhor entendimento do projeto (sem a utilização de recursos gráficos).

Foi elaborada outra planilha com a descrição de equipamentos e aplicativos utilizados no estudo de caso. Neste estudo, não foi levada em consideração a diferença entre os equipamentos e aplicações utilizadas. Entretanto, em função da diferença do tamanho de arquivos gerados pelos dois métodos, observou-se que a modelagem em 3D requer mais recursos dos computadores, estando os equipamentos utilizados no Escritório 3D compatíveis com esta demanda.

SETOR	PRO	SER	DATA	INICIO	FIM	TEMPOM	ATIVIDADE
ADM	347	PRJ	28-jun-04	16:45	17:00	00:15	Triagem MAL04325
PRO	347	ALV	28-jun-04	17:25	17:45	00:20	Preenchimento do Cadastro Técnico
PRO	347	ALV	28-jun-04	17:55	18:20	00:25	Ajuste - 4 arquivos
PRO	347	ALV	28-jun-04	18:20	18:50	00:30	Desmembramentos - 7 arquivos
PRO	347	ALV	29-jun-04	13:30	13:45	00:15	Desmembramentos - 7 arquivos
PRO	347	ALV	29-jun-04	13:45	14:50	01:05	Modulação Vertical para Alvenaria de Blocos
PRO	347	ALV	29-jun-04	14:50	15:20	00:30	Compatibilização Arquitetura x Estrutura
PRO	347	ALV	29-jun-04	15:20	15:45	00:25	Montagem da folha 347VDep201r00
PRO	347	ALV	30-jun-04	09:00	10:00	01:00	Sugestões para Modulação Vertical
ADM	347	PRJ	30-jun-04	11:00	11:40	00:40	Triagem MAL04326
ADM	347	PRJ	30-jun-04	11:40	11:55	00:15	Triagem MAL04327
PRO	347	ALV	30-jun-04	11:55	12:55	01:00	Ajustes - 7 arquivos - Obs.: FATAL ERROR no ajuste do corte. Foi necessário entrar com recover
PRO	347	ALV	1-jul-04	08:00	09:10	01:10	Desmembramentos - 16 arquivos
PRO	347	ALV	1-jul-04	09:20	09:30	00:10	Esquema de níveis - NIVpb001
PRO	347	ALV	1-jul-04	09:30	11:15	01:45	3D da Estrutura
PRO	347	ALV	1-jul-04	11:15	11:45	00:30	Revisão da Modulação Vertical
PRO	347	ALV	1-jul-04	12:50	14:35	01:45	3D da alvenaria (incluindo rotina EST)
PRO	347	ALV	1-jul-04	14:35	15:00	00:25	Eixos das Paredes
PRO	347	ALV	1-jul-04	15:00	15:15	00:15	Identificação das Paredes
PRO	347	ALV	1-jul-04	15:20	16:30	01:10	Memorial de paredes
PRO	347	ALV	1-jul-04	16:40	16:55	00:15	Rotina Tijolo
PRO	347	ALV	2-jul-04	09:00	09:30	00:30	Solicitação de Informações - SPV04001
PRO	347	ALV	2-jul-04	10:20	11:55	01:35	3D de elétrica
PRO	347	ALV	2-jul-04	12:45	17:00	04:15	3D de elétrica
PRO	347	ALV	5-jul-04	07:55	09:25	01:30	3D de elétrica
PRO	347	ALV	5-jul-04	09:45	11:35	01:50	3D de elétrica
PRO	347	ALV	5-jul-04	13:55	14:55	01:00	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	5-jul-04	14:55	15:45	00:50	3D das portas e montagem do arquivo IPO
PRO	347	ALV	6-jul-04	09:00	10:15	01:15	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	6-jul-04	10:20	12:10	01:50	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	6-jul-04	13:20	13:40	00:20	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	6-jul-04	13:45	15:35	01:50	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	7-jul-04	08:15	10:50	02:35	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	7-jul-04	11:00	12:30	01:30	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	7-jul-04	12:40	13:35	00:55	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	7-jul-04	14:15	16:30	02:15	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	8-jul-04	07:55	11:50	03:55	3D de hidráulica
PRO	347	ALV	8-jul-04	12:40	15:00	02:20	3D de hidráulica

Figura 10 - Parte da planilha de coleta de dados do Escritório 3D.

3.1.4. Os processos de desenvolvimento dos projetos de vedações e compatibilização nos escritórios estudados

Em termos de organização das atividades de projeto, a prática corrente de mercado divide o projeto completo de vedações em cinco ou seis fases. A Figura 11 e a Figura 12 apresentam os macroprocessos do desenvolvimento de projetos do Escritório 2D e do Escritório 3D, respectivamente. No Anexo 4 e Anexo 5, estes processos são apresentados de forma mais detalhada.

Neste estudo, o escritório 3D organizou suas atividades em Anteprojeto e Executivo, enquanto que o escritório 2D considerou as atividades em três etapas. No entanto,

ambos os trabalhos chegaram à representação final com as mesmas informações (marcações de furações na estrutura, marcações de primeira fiada e elevações). Assim, neste estudo de caso, entendeu-se que as atividades abrangeram apenas a fase de desenvolvimento do projeto pré-executivo, sendo esta a mais longa e que demanda o maior número de horas de projeto.

Figura 11 – Macroprocesso de desenvolvimento de projetos do Escritório 2D (obtido a partir de entrevistas com a direção do escritório)

Em ambos os escritórios do estudo de caso, o serviço prestado envolve a elaboração de representações gráficas da modulação da alvenaria e a compatibilização do subsistema de vedações com arquitetura, estrutura e instalações. Os produtos resultantes do serviço são compostos por:

- Plantas de primeira fiada e de segunda fiada, no caso do projeto em 2D;

- Plantas de marcações de furações de instalações, resultante da compatibilização das vedações com instalações;
- Elevações de cada parede devidamente identificada;
- Relatórios de análise de incompatibilidades.

Figura 12 – Macroprocesso do desenvolvimento de projetos do Escritório 3D

Em termos de representação gráfica, a Figura 13 apresenta a visualização típica do projeto de vedações (alvenaria) utilizando o CAD 3D. Neste método, o projetista insere modelos 3D dos elementos constituintes da parede, incluindo os blocos de alvenaria, elétrica, hidráulica e estrutura. Também são inseridos comentários com objetos associados a informações não gráficas, com um recurso de atributos do AutoCAD®, que permite, através de rotinas específicas em LISP, a introdução dessas notas na formatação final do projeto em plantas, cortes e elevações. A Figura 14 apresenta o modelo com as notações resultantes destes atributos.

Figura 13 – Visualização de parede de alvenaria em CAD 3D

Figura 14 – Desenho gerado pelo Escritório 3D em que as “nuvens” contêm informações (atributos) automaticamente associadas aos objetos

A empresa desenvolveu internamente diversas rotinas em AutoLISP™, que juntas formam um sistema com funções automáticas para o desenvolvimento do projeto de vedações. Além da implementação desse tipo de ação, a empresa customizou o menu original do AutoCAD, a fim de atender às suas necessidades de projeto.

Em termos de automação dos processos, a Empresa 3D utilizou basicamente rotinas em LISP associadas a comandos em lote (*BATCH* no MS-DOS) e, em alguns casos, Visual Basic (VB).

Em síntese, as rotinas são divididas em:

- Rotinas para criação de paredes, seção automática de modelos sólidos em 3D, contagem de material (blocos, telas etc.);
- Comandos em lote para geração automática de documentação e respectiva impressão;
- Rotinas para automação de processos repetitivos que utilizam comandos básicos do CAD ou um conjunto de recursos nativos;
- Rotinas automáticas para a gestão do processo de projeto, com anotações sobre os objetos de problemas identificados com outras disciplinas (compatibilização), conferências internas, notas internas com diretrizes para o desenvolvimento do projeto, revisão e notas para serem automaticamente inseridas na documentação a ser fornecida ao cliente.

A Figura 15 apresenta o tipo de visualização utilizada pelo método do CAD 2D. É possível observar que o mecanismo para entendimento do espaço completo inclui a representação de esquemas de cortes, juntamente com as elevações bidimensionais. São acrescentadas informações não geométricas (como cotas e notas na forma de texto), para a identificação mais completa da informação.

A identificação de incompatibilidades percebidas no processo de desenvolvimento dos projetos no Escritório 2D é feita em planilhas do MS-Excel®, como mostra a Figura 16. O processo de desenvolvimento de projetos no Escritório 2D utiliza pouca automação e tem como base a estrutura padrão do AutoCAD® com pequenas customizações de comandos curtos para abreviar algumas operações.

Figura 15 – Visualização de parede de alvenaria em CAD 2D

Item	Disciplinas	ARQUITETURA
1.1	Arquitetura	1.Rever locação e dimensões dos vãos das esquadrias e também as espaletas das portas conforme planta CF01 enviada pela AAA (Revisão 01 - Pré-Executivo) devido racionalização da alvenaria 2. Acrescentar as alturas dos forros de gesso. 3. Fazer corte entre a sala de jantar e o dormitório para verificação da altura da viga (42cm) x forro x piso acabado nos aptos final 02 e 05. 4. Rever desenho do pavimento tipo. Nos aptos não cotados o desenho está diferente dos aptos cotados.
1.2	Estrutura	
1.3	Hidráulica	1. Arquitetura deve prever esquadrias de ventilação permanente na Área de Serviço conforme especificado no projeto de hidráulica (folha 13). 2. Arquitetura deve prever espaleta ao lado da esquadria da AS/Cozinha devido locação de prumada de gás nos Aptos final 02 e 05 ou prumada de gás deverá ser relocada no enchimento da arquitetura. 3. Arquitetura deve aumentar sanca no dormitório dos aptos final 02 e 05 de 15cm depois do pilar para 23cm.
1.4	Elétrica	1.Definir detalhe de fechamento dos shafts dos halls compatibilizado com instalações elétricas e hidráulicas.
1.4	Folder/Elétrica	1.Nos Aptos final 02 e 05, o folder e o layout da planta de arquitetura não estão iguais na disposição da mobília da sala de estar. A TV e sofá estão localizados ao contrário do folder para o layout da planta. Isso pode implicar na alteração dos pontos de elétrica e sistemas.

Figura 16 – Trecho de planilha de registro de problemas identificados do Escritório 2D

3.1.5. Análise dos dados

A análise dos dados foi feita sobre os dados coletados conforme anteriormente descritos. Para a análise comparativa da eficiência em termos de tempo do desenvolvimento de projetos nos dois métodos, os dados coletados foram tabulados e resumidos nos gráficos a seguir, a partir da identificação de algumas atividades no processo de desenvolvimento.

Foram identificadas sete atividades típicas no processo de desenvolvimento dos projetos, seja em CAD 2D ou CAD 3D, a saber:

- Transcrição: diz respeito às atividades de transformação dos projetos recebidos das outras áreas técnicas (arquitetura, estrutura, instalações) para os padrões internos da empresa;
- Projeto: reúne as atividades de análise e compatibilização dos diversos subsistemas em projeto. No caso do projeto em 3D, essa atividade ocorre através do processo de modelagem.
- Conferência interna: diz respeito à atividade de verificação de consistência dos modelos gerados, sejam em 2D ou 3D.
- Correção: diz respeito às correções geradas em função das verificações de consistência dos modelos;
- Modificação: está relacionada ao recebimento de novas informações e modificações no projeto, que ocorreram na sequência de conferências internas,
- Quantificação: diz respeito às atividades de levantamento de quantidade de blocos;
- Saída 2D: está relacionada à montagem da documentação que será entregue ao cliente; em geral, são plantas, elevações, cortes e detalhes em 2D, para ambos os processos em CAD 2D e CAD 3D.

O Gráfico 2 apresenta os valores das atividades genéricas aglutinadas³. Observa-se que na soma total dos tempos das atividades e, individualmente, em quatro das cinco atividades genéricas, o tempo do método 3D foi sempre inferior em relação ao tempo do método 2D.

Neste gráfico, optou-se por aglutinar as atividades de projeto (2D e 3D), conferência e correção por duas razões:

³ No Anexo 1 e no Anexo 2, estão detalhadas as planilhas utilizadas para levantamento de atividades e tempos formatada para o estudo de caso piloto.

- No caso do método 2D, vários registros da planilha de coleta de dados se referiam a atividades mistas de conferência e correção, sem discriminação dos tempos individuais, impedindo a separação completa para totalização individual destas atividades;
- A atividade de Projeto 3D inclui implicitamente tarefas de conferência e correção, além da modelagem e análise. Assim, para que pudessem ser comparados os tempos de conferência e correção dos dois métodos, estes foram agrupados com os da atividade de Projeto.

Ao se observar a divisão do tempo entre as várias atividades do método 2D (Gráfico 3), nota-se que as atividades de conferência e correção correspondem a mais de um terço do total. Considerando-se que esta atividade não agrega valor ao processo produtivo, é um fato que merece atenção especial. Acredita-se que a origem do grande investimento de tempo nestas atividades deve-se à abstração da representação gráfica, que demanda mais tempo para sua interpretação e é mais sujeita a erros, que exigem posterior correção e nova verificação. Ao mesmo tempo, foi possível observar que as atividades “projeto 2D” englobam algumas tarefas referentes à “saída 2D”.

Gráfico 2 – Tempo total para as atividades genéricas aglutinadas para os dois métodos

No Gráfico 4 são apresentados os dados de tempo das atividades no método 3D, cujos resultados mostram concentração na atividade genérica “projeto 3D”. Em

função de entrevistas, inferiu-se que nas atividades de projeto 3D incluem-se freqüentes verificações e correções que, no entanto, são executadas pelo próprio projetista. Assim, percebe-se que há uma redução nas atividades explícitas de conferência e correção, geralmente executadas por profissional supervisor. O resultado mais interessante foi a diferença de tempo no desenvolvimento dos projetos, com quase 50 horas a mais utilizando-se o CAD 2D, correspondendo a uma economia de 28% pelo método de CAD 3D.

% TEMPO ATIVIDADES MÉTODO 2D

Gráfico 3 - Porcentagem de tempo para as atividades genéricas do método 2D (FERREIRA; SANTOS, 2004)

% TEMPO ATIVIDADES MÉTODO 3D

Gráfico 4 – Porcentagem de tempo para as atividades genéricas do método 3D (FERREIRA; SANTOS, 2004)

Na Tabela 2, a seguir, são listadas a síntese das observações resultantes da análise dos dados e propostas explicações para os fatos observados.

No que se refere à eficácia do projeto da prestação de serviços, especialmente no que diz respeito à compatibilização, os problemas percebidos pelos projetistas foram

classificados conforme a natureza dos mesmos, segundo o estudo feito por Codinhoto e Ferreira (2004), conforme apresentado na Tabela 3. O objetivo desta classificação foi identificar com clareza as diferentes naturezas dos problemas percebidos durante o desenvolvimento dos projetos, isolando as questões referentes às “interferências e inconsistências geométricas entre projetos do produto” (CODINHOTO; FERREIRA, 2004).

Tabela 2 – Análise das informações coletadas no estudo de caso (Revisado de FERREIRA; SANTOS, 2004)

OBSERVAÇÃO	EXPLICAÇÃO PROPOSTA
Modificações mais rápidas com método 3D do que com o 2D.	As alterações das dimensões ou da posição de elementos 3D são muito rápidas. No método 2D, modificações implicam na edição de desenhos 2D, mais complexa em termos cognitivos.
Pouco tempo despendido explicitamente em verificações e correções no método 3D.	No método 3D, os erros geométricos, em sua maioria, são identificados e corrigidos imediatamente, durante o próprio processo de modelagem, pelo próprio projetista/estagiário, pois são facilmente visualizados. Ao mesmo tempo, a atividade de projeto 2D requer alguns passos complexos ou que demandam grande atenção, como desenhar correta e precisamente as elevações a partir da planta ou transportar pontos de amarração, entre outros, que não são necessários no processo em 3D, aumentando a probabilidade e a frequência dos erros no 2D. No processo 2D, estes erros normalmente só são detectados posteriormente, através da atividade de conferência/verificação e então corrigidos e novamente verificados.
A quantificação é mais rápida no método 3D.	A contagem de blocos pode ser feita precisa e automaticamente pelo CAD 3D, bastando selecioná-los. A seleção pode ser feita automaticamente, através de filtros. Nunca é necessária contagem manual. A contagem também pode ser automatizada em 2D, porém com artifícios para a representação de situações ambíguas. Um exemplo é o caso de uma parede com duas espessuras de blocos. A representação bidimensional simples não permite a diferenciação de espessuras de blocos, a não ser que haja dupla indicação. Esse procedimento exige muito mais cuidado do operador ou projetista de CAD nas representações de projeto.
O tempo total de execução do projeto é menor no método 3D.	Aparentemente, o tempo despendido em conferências e correções no método 2D é muito maior que no método 3D. Neste, o uso do tempo concentra-se na modelagem 3D e análise. Ao mesmo tempo, as rotinas de automação de tarefas são mais poderosas quando operando com informações 3D, já que o computador dispõe explicitamente de uma série de informações que, em 2D, estão implícitas ou cuja ligação aparece apenas na mente do projetista (plantas e elevações ou espessura da parede e do bloco, por exemplo). Com mais informações, o computador pode prestar maior auxílio ao projetista. As condições deste estudo de caso permitem uma maior otimização do processo em 3D já que nem todas as possíveis rotinas de automação estavam operacionais e o projetista não havia atingido o desempenho máximo de operação em 3D, que somente é adquirido com um pouco mais de experiência.
O tempo para geração das saídas 2D foi maior no método 3D.	Acredita-se que esse resultado não é fiel e deve-se à forma como os dados são coletados. Como o processo de projeto em 2D implica na execução de desenhos 2D, parte do tempo creditado na atividade de projeto 2D refere-se (indevidamente) à preparação de notas, detalhamentos e cotas. No caso do método 3D, estas atividades são claramente separadas e realizadas somente ao final do processo. Como esta atividade é parcialmente automatizada pelo CAD 3D, capaz de gerar, sem erros, plantas e elevações a partir dos modelos 3D, estima-se que o tempo total para geração de saída impressa é provavelmente menor que o necessário ao método 2D. Note-se que não é possível discernir completamente, na atividade de projeto 2D, qual o tempo despendido em análise e em desenho 2D, já que, neste método, são atividades intrinsecamente ligadas.
Custo de desenvolvimento.	Apesar de não terem sido coletados dados suficientes para esta análise, estima-se que os custos de execução do projeto de vedação para os dois métodos são muito semelhantes já que, apesar de requerer menos homens-hora, a capacitação em 3D requer um profissional com melhor remuneração, bem como o equipamento necessário para operação em 3D é mais potente e custoso.

Tabela 3 - Descrição das categorias de problemas analisados (CODINHOTO; FERREIRA, 2004)

Classe de Problema	Definição
Compatibilização	Interferências e inconsistências geométricas entre projetos do produto;
Construtibilidade	Inconsistências relacionadas ao desempenho e à execução dos sistemas e entre os subsistemas;
Coordenação	Inconsistências relacionadas ao controle da comunicação, do tempo, do escopo, de custos, riscos e integração do projeto / projetistas;
Especificação	Omissões, contradições ou inexistência de informações relacionadas ao produto.

Os resultados obtidos a partir desta classificação foram sintetizados na Tabela 4. O número de problemas percebidos por ambos os escritórios foi exatamente o mesmo, (cada um relatou um total de cinco problemas), sendo um deles diferente entre os escritórios.

Dos itens percebidos pelo Escritório 2D na classe de problemas relativos à especificação, três referiam-se a procedimentos que não existem no Escritório 3D, como o registro de determinados problemas de representações gráficas bidimensionais. Um exemplo é a seguinte descrição de problema: “Corrigir desenho do perfil da V6 no trecho de 55 cm de altura”. O “perfil” a que se refere o projetista é uma representação do corte sobre a estrutura. Em geral, essa informação foi considerada pelo escritório 3D como um esquema e não foi verificado com o mesmo rigor que o Escritório 2D, tendo sido considerada que a indicação textual estava coerente, segundo entrevistas com os participantes. Do mesmo modo, o Escritório 3D conferiu as cotas no projeto para dar entrada da informação vinda dos demais projetistas, mas não registrou as divergências, desde que a informação gráfica estivesse correta. Um exemplo de problema detectado pelo escritório 2D foi: “Rever desenho do pavimento tipo. Nos apartamentos não cotados o desenho está diferente dos apartamentos cotados.”

Outro problema percebido pelo escritório 2D e que não poderia ter sido percebido pelo Escritório 3D foi em relação à comparação entre planta de vendas e dos projetos utilizados em seus processos. O Escritório 3D não recebeu essa informação para analisar, logo não poderia executar essa atividade.

Tabela 4 - Problemas percebidos pelos Escritórios (CODINHOTO; FERREIRA, 2004)

Classe de Problemas	Problemas percebidos			
	Por ambos os escritórios	Somente pelo Escritório 2D	Somente pelo Escritório 3D	TOTAIS
Compatibilidade	4	1	1	6
Construtibilidade	2	3	7	12
Coordenação	1	1	2	4
Especificação	2	11	4	17
TOTAL	9	16	14	39

As Tabelas a seguir apresentam a relação de problemas percebidos durante o processo de projeto de vedações e compatibilização pelos escritórios envolvidos, com a identificação do tipo de problema.

Tabela 5 - Problemas idênticos percebidos por ambos os Escritórios (CODINHOTO; FERREIRA, 2004)

Item	Classe de Problema	Problemas percebidos por ambos os escritórios
1.	Compatibilidade	A estrutura não previu um furo solicitado no projeto de hidráulica.
2.	Compatibilidade	Estrutura previu uma passagem, na laje, de dimensões diferentes do solicitado pelo projeto de elétrica.
3.	Compatibilidade	Há interferências entre hidráulica e elétrica na região de prumadas.
4.	Construtibilidade	O projeto de elétrica previu instalação, embutida na estrutura, de difícil execução por não avaliar que, apesar do apartamento ser “espelhado”, a estrutura não o era.
5.	Compatibilidade	A estrutura previu furações na viga diferentemente do que o projeto de hidráulica exigia.
6.	Construtibilidade	O projeto de vedações solicitou mudanças no vão do caixilho para melhor modulação.
7.	Coordenação	Faltou coordenar a troca de informações entre Exaustão e Projeto de Vedações
8.	Especificação	Faltou detalhar o fechamento do “shaft” nos “halls”.
9.	Especificação	Faltaram detalhes de forro.

Tabela 6 - Problemas percebidos somente pelo Escritório 2D (Revisado de CODINHOTO; FERREIRA, 2004)

Item	Classe de Problema	Problemas percebidos somente pelo escritório 2D
1.	Compatibilidade	Arquitetura deve aumentar a sanca no dormitório dos aptos final 02 e 05 de 15 cm, depois do pilar, para 23cm.
2.	Construtibilidade	Hidráulica: verificar possibilidade de diminuir furo em viga, de 100 mm para 75 mm, onde passam apenas dois tubos de 19mm de diâmetro.
3.	Construtibilidade	O caixilho está posicionado de tal forma que a sua fixação com a parede ortogonal está interferindo com o gás. Para evitar isso, o projetista sugeriu uma proteção através de uma espaleta ou o deslocamento da prumada de gás.
4.	Construtibilidade	O escritório sugeriu o ajuste modular entre estrutura e vedações.
5.	Coordenação	Não foi enviado o detalhamento de hidráulica.
6.	Especificação	Arquitetura deve prever esquadrias de ventilação permanente na

Item	Classe de Problema	Problemas percebidos somente pelo escritório 2D
		Área de Serviço conforme especificado no projeto de hidráulica.
7.	Especificação	O projeto de estrutura previu um furo para chaminé de aquecedor não especificado no projeto de instalações.
8.	Especificação	Há diferenças de interpretação na posição dos pontos de alimentação de água fria e quente da pia da cozinha, sendo que nas vistas os pontos estão nas paredes.
9.	Especificação	O projetista sugere melhorar, no projeto de hidráulica, a indicação de ligação da água fria após o medidor com os sub-ramais que alimentam a Cozinha e Banhos.
10.	Especificação	Indicar cortes para vigas da escada.
11.	Especificação	Verificar necessidade de previsão de pontos de energia para os exaustores.
12.	Especificação	Sugestão de inclusão de um corte para melhor entendimento da solução entre forro, estrutura e piso acabado.
13.	Especificação	Rever desenho do pavimento tipo. Nos aptos não cotados o desenho está diferente dos aptos cotados.
14.	Especificação	Necessidade de correção de um corte esquemático sobre a estrutura.
15.	Especificação	Diferenças entre o folder de vendas e as soluções de arquitetura.
16.	Especificação	O pé direito mínimo em antecâmaras é de 250cm e a altura da viga não está de acordo com essa necessidade, pois não foi especificado no projeto de arquitetura.

Tabela 7 - Problemas percebidos somente pelo Escritório 3D (Revisado de CODINHOTO; FERREIRA, 2004)

Item	Classe de Problemas	Problemas percebidos somente pelo escritório 3D
1.	Compatibilidade	Diferenças entre a posição da pia pela arquitetura e de posicionamento do esgoto no projeto de hidráulica.
2.	Construtibilidade	Havia diretrizes para se fazer opções de modulação para caixilhos com bloco canaleta e que, em uma parede específica, essa diretriz não era viável, a não ser com corte de blocos.
3.	Construtibilidade	Sugestão de adoção de um determinado detalhe construtivo (que já havia sido adotado em outras situações no mesmo projeto), a fim de racionalizar o processo de produção.
4.	Construtibilidade	Sugestão de alteração dimensional do subsistema de vedações para racionalização da produção.
5.	Construtibilidade	Sugestão de alteração de modulação para uma única situação, a fim de racionalizar o processo de produção.
6.	Construtibilidade	Sugestão de deslocamento de instalações para melhorar a modulação de vedações.
7.	Construtibilidade	Sugestão de alteração de modulação para uma única situação, a fim de racionalizar o processo de produção.
8.	Construtibilidade	Sugestão de alteração de modulação para uma única situação, a fim de racionalizar o processo de produção.
9.	Coordenação	Falta o posicionamento de eixos de obra.
10.	Coordenação	Faltaram informações relativas à porta de elevador.
11.	Especificação	Havia diferenças entre plantas e elevações, em que, nas últimas, faltavam pontos especificados em planta.
12.	Especificação	Diferenças entre planta e elevações no projeto de hidráulica.
13.	Especificação	Falta informação detalhada de uma porta.
14.	Especificação	Soluções diferentes entre plantas e vistas de banheiros para instalações hidráulicas.

3.1.6. Desenvolvimento de projetos com CAD 2D e CAD 3D

O estudo de caso piloto possibilitou uma análise crítica sobre algumas características dos procesos de desenvolvimento em CAD 2D e CAD 3D. A seguir, são apresentados os modelos básicos dos dois processos observados na pesquisa.

As atividades recorrentes no método bidimensional (CAD 2D) são a interpretação da representação gráfica, análise, codificação da solução em forma gráfica (abstrata e parcial) e, seqüencialmente, atividades de (re)interpretação, conferência e correção (Figura 17). A conferência, que envolve a análise do espaço, requer a reinterpretação da solução gráfica, repetindo o ciclo anterior até que o projetista decida que todos os problemas foram analisados. Este processo de interpretação e codificação do desenho técnico requer experiência, habilidade de visualização e familiaridade com a técnica de representação (MAFALDA, 2000) e demanda grande carga cognitiva em situações com detalhes não convencionais ou grande conjunto de subsistemas, eventualmente em configurações complexas. Essas características podem propiciar a ocorrência de erros, mesmo com profissionais experientes, em função da representação sintética e parcial, que gera a necessidade de reinterpretações pessoais.

Figura 17 – Esquema geral das atividades do processo de projeto em 2D.

A Figura 17 apresenta um modelo do ciclo genérico de atividades em que se utiliza o CAD 3D para projetar. A primeira atividade de interpretação é seguida por um processo em que, simultaneamente, o projetista modela, visualiza, corrige o modelo, analisa e volta a modelar, até que esteja em condições de fazer a codificação final.

Assim, este método de projeto reduz a necessidade de inferências mentais *a posteriori* por parte de supervisores e coordenadores de projeto, nos processos de verificação e liberação final,

Figura 18 – Ciclo genérico de atividades de projeto usando CAD 3D.

Como a maioria dos erros geométricos são rapidamente identificados devido à facilidade de visualização, são também imediatamente corrigidos como parte do processo de modelagem 3D. A análise de interferências e a tomada de decisões de projeto são também simplificadas já que a representação gráfica tridimensional é explícita, facilitando o desenvolvimento do projeto, mesmo para projetista com pouca experiência.

A representação gráfica final do projeto neste método é semelhante àquela do método com CAD 2D. No entanto, seu processo de geração é muito distinto. Este procedimento normalmente é realizado somente ao final do processo, de forma parcial ou totalmente automática, dependendo dos recursos próprios do CAD utilizado. Normalmente, as plantas e elevações são geradas automaticamente. Já as cotas, notas e diagramação podem ter que ser inseridas, como no processo 2D, individualmente. Em produtos CAD mais modernos, os modelos 2D e 3D em geral estão associados às informações não geométricas, como cotas, notas, tipo de material etc.

3.1.7. Considerações finais

Esperava-se que o método de projeto com CAD 3D fosse capaz de identificar mais problemas de compatibilidade que aquele em 2D, dada a evidente superioridade do primeiro no que concerne à visualização e detecção automática de interferências. No

entanto, os resultados quanto à eficácia, no estudo de caso piloto, foram muito semelhantes entre os dois métodos utilizados nos projetos. Assim, foi necessário buscar indícios que explicassem o resultado inesperado obtido.

Identificou-se como uma das possíveis explicações o fato do projeto do caso piloto ser relativamente simples. Tratou-se de um projeto com planta bastante comum em produtos da construção e com o envolvimento de poucos subsistemas: apenas hidráulica, elétrica, estrutura e arquitetura de pouca complexidade.

Kim e Wilemon (2003) identificam duas abordagens sobre complexidade: uma delas comumente relacionada à dimensão do projeto e quantidade de itens; outra, à natureza do esforço empreendido para executar as tarefas relacionadas ao projeto. Os autores também associaram a complexidade a algumas fontes, dentre as quais se destacam, para este trabalho, aquelas ligadas à complexidade tecnológica e de desenvolvimento. Kim e Wilemon (2003, p. 30) propõem as seguintes definições para essas duas fontes de complexidade:

- Complexidade tecnológica - O volume de integração de componentes requerido, a novidade da tecnologia envolvida, a variedade de habilidades necessárias para desenvolver a tecnologia etc.
- Complexidade no desenvolvimento: integração de muitas diferentes decisões de pesquisa e desenvolvimento, dificuldade de avaliação do quanto de esforço e dinheiro é necessário para desenvolver um novo produto, volume de integração de componentes requerido, desenvolvimento de processo complexo, garantia de fornecedores qualificáveis e gestão das relações de cadeia de fornecimento, etc.

Por essas definições, pode-se concluir que o projeto utilizado neste estudo de caso piloto foi de baixa complexidade, uma vez que uma análise dos arquivos de projeto de vedações e compatibilização do Escritório 3D suporta a hipótese de que o projeto piloto tem uma tipologia bastante comum. Observou-se que a solução de arquitetura do projeto do estudo de caso ocorreu em pelo menos outros 5 projetos da empresa (ver Anexo 3). Isto representou uma parcela de quase 2,5% dos projetos que a empresa desenvolveu no período de 1994-2004, evidenciando que se trata de uma solução bastante comum em arquitetura de padrão médio a baixo. Esta solução é mais recorrente em alvenaria estrutural, pois proporciona um rendimento maior de

unidades por pavimento tipo (um total de 6), uma vez que esse tipo de tecnologia construtiva limita a altura dos edifícios. É importante salientar que projetos de alvenaria estrutural não são a especialidade do Escritório 3D.

A conclusão é que a equipe do Escritório 2D já está muito habituada com esse leiaute de andar tipo e suas soluções arquitetônicas, o que facilita muito a visualização do projeto, favorecendo a redução de erros e a identificação de incompatibilidades. Essa conclusão foi confirmada informalmente por um dos titulares do Escritório 2D.

Ainda que a explicação dos resultados do estudo piloto seja plausível, resta à pesquisa determinar, então, em quais situações o uso do CAD 3D é mais significativo para a detecção de incompatibilidades. Seguindo nessa linha de inquisição, um conjunto expressivo de projetos foi então examinado, procurando-se identificar as limitações da representação 2D que potencialmente podem ser superados com a adoção da ferramenta 3D para desenvolvimento do projeto, como será visto nas seções seguintes.

3.2. Análise das limitações da representação bidimensional

Nesta segunda etapa da pesquisa, o método adotado para identificar as limitações da representação 2D, constitui-se em:

- a) Obter um acervo de projetos representativo da área focada (projeto de vedações e compatibilização);
- b) Selecionar projetos do acervo do item a), procurando criar uma amostra representativa do conjunto de projetos realizados pelo escritório;
- c) Compilar uma lista de problemas de incompatibilidades detectadas;
- d) Analisar detalhadamente os projetos selecionados no item b) para determinação de possíveis causas para a ocorrência dos problemas listados em c);
- e) Agrupar as razões levantadas em d), visando o desenvolvimento e consolidação de uma classificação de limitações da representação 2D.

3.2.1. Acervo de projetos investigado

Nesta etapa, utilizou-se o acervo de projetos do mesmo escritório estudado no caso piloto, denominado Escritório 3D.

O Escritório 3D é uma empresa que presta serviços de Projeto de Vedações e Compatibilização desde fins de 1993. O banco de dados do Escritório 3D é composto pelos seguintes tipos de contratos de serviços, no período de 1992 a 2004, o qual serviu de referência para a coleta de dados iniciais:

- 211 projetos de vedações;
- 11 projetos de Coordenação técnica de projetos;
- 5 projetos de detalhamento completo de arquitetura.

3.2.2. Seleção de projetos para análise

O processo de trabalho usual do Escritório 3D previa que, durante o desenvolvimento do projeto de vedações, ao ser encontrado um determinado problema, este era registrado em um relatório de acompanhamento em documento do Word[®]. A partir do desenvolvimento de rotinas de automação dentro do CAD, esses registros passaram a ser parte dos modelos gráficos, conforme descrito anteriormente.

A seleção de projetos e a coleta de dados foram feitas através desses relatórios de acompanhamento de projeto ou através dos registros inseridos nos modelos em 2D ou 3D.

De um conjunto de cerca de 200 trabalhos, foram selecionados os relatórios de 18 projetos com características diversas. Em termos de tipo de empreendimento, os projetos selecionados estavam divididos em: 02 comerciais, 03 residenciais horizontais e 13 empreendimentos residenciais verticais, sendo que em todos eles o projeto para vedações foi elaborado até a fase de projeto executivo. O tempo de

desenvolvimento desses projetos foi, para a maioria dos empreendimentos, entre 07 e 11 meses.

Procurou-se priorizar na amostra os projetos mais recentes, quando o processo de documentação de problemas identificados estava mais maduro e, portanto, mais confiável.

Os projetos selecionados foram os mesmos utilizados na pesquisa descrita em Codinhoto e Ferreira (2004).

3.2.3. Compilação e Classificação de problemas

Sobre estes trabalhos selecionados, realizou-se a análise dos problemas identificados durante o processo de desenvolvimento dos projetos de vedações e compatibilização com estrutura e instalações.

Os problemas percebidos durante o desenvolvimento dos projetos de vedações foram classificados conforme a natureza do problema identificado, segundo o estudo feito por Codinhoto e Ferreira (2004). O objetivo desta classificação era separar os problemas de compatibilização daqueles de outra natureza, tais como construtibilidade, coordenação e especificação em projeto (categorias na Tabela 4).

Num segundo momento, os problemas assim identificados e classificados foram novamente analisados detalhadamente, visando relacioná-los com a tecnologia CAD utilizada para o desenvolvimento dos projetos. Tendo em vista que os projetos que servem de dados de entrada para o desenvolvimento dos projetos de vedações pelo Escritório 3D são feitos em CAD 2D, a análise dos problemas identificados auxiliou na compreensão das limitações da ferramenta e/ou da representação gráfica bidimensional. Em outra medida, também foi possível explorar o quanto a utilização do CAD 3D pôde colaborar para se evitar os problemas em projeto.

O total de problemas desta amostra foi de 799, dos quais Codinhoto e Ferreira (2004) concluíram a seguinte classificação: 16% de compatibilização, 42% de construtibilidade, 7% de coordenação e 35% de especificação.

Do conjunto total de problemas, foram selecionados aqueles cuja causa era relacionada com a representação gráfica. Os problemas encontrados foram relacionados em planilhas contendo sua descrição, sua categoria e uma análise sobre a possível causa do erro, como exemplificado na Tabela 8. É interessante observar que as características do projeto em duas dimensões se reproduzem mesmo com o uso do CAD, como “prancheta eletrônica”.

Tabela 8 – Exemplos de análise dos problemas identificados nos projetos 2D, com base nas categorias de problemas de Codinhoto e Ferreira (2004)

Categoria do Problema	Descrição original do problema identificado	Análise
Especificação	A tubulação de água quente do 1º WC que vai para o chuveiro, sob a laje, foi representada atingindo bem o ralo do box. No 3D foi desviada.	A informação bidimensional precisa ser “despoluída” para ser legível à equipe de obra. Porém, nesse processo de simplificação, considerando que o espaço é visualizado mentalmente, a análise de situações mais complexas pelo projetista é prejudicada.
Construtibilidade	Para a acomodação das tubulações de água quente e fria dentro do shaft dos banheiros da suíte e do dormitório foi necessário movê-las (Figura 19 e Figura 20).	Esse problema está relacionado com a interferência da parede do shaft com as réguas de apoio da tubulação flexível que não foram representadas no projeto de hidráulica. A representação das réguas congestiona a informação das tubulações e o projetista optou por omiti-la, considerando que as tubulações poderiam ser ajustadas em obra, tal como foi feito na representação 3D (Figura 21).
Compatibilidade	Verificar pontos de arandelas, pois devido à alteração no projeto estrutural, se executarmos estes pontos à 220cm do patamar, os mesmos ficarão localizados na viga V7.	A viga da escada, dependendo do apoio necessário, pode ficar em um nível diferente das demais vigas, interferindo com pontos de elétrica. O problema ocorreu porque o projetista de elétrica, tendo uma visão apenas parcial da situação espacial, precisaria consultar um desenho de elevação da região da escada para perceber que ali as vigas têm altura diferente.
Construtibilidade	Subida de gás atinge viga invertida. Seria necessário ou um rasgo na viga ou um enchimento novo para vedar o gás.	O projetista de instalação não consegue perceber claramente a informação de que a viga é invertida, sendo que não haveria o problema se a viga fosse normal. A informação da inversão da viga é um desenho da seção da viga, localizado, em outra parte da folha. Assim, a forma de representação 2D é ambígua, não deixando clara essa condição.
Compatibilidade	Hall: atenção na disposição da parede da porta corta-fogo: terá de abrigar prumada com tomada alta, prumada com botoeira e prumada com iluminação de emergência.	A quantidade de pontos na parede não foi devidamente analisada pelo projetista. Em geral isto está relacionado ao tipo de simbolismo utilizado pelo projetista de instalações elétricas, que não traduz a real dimensão dos pontos, levando à interpretação errônea das interferências geométricas presentes no local.

A análise detalhada das imagens no CAD foi utilizada para a compreensão dos problemas identificados nos projetos em 2D. A Figura 19 apresenta um detalhe em elevação em que o projetista omite a representação das peças de fixação das tubulações flexíveis de água quente (AQ) e fria (AF) tipo pex. Em vista, também há uma simplificação das tubulações de AQ e AF, através de linhas, que não expressam a dimensão real das tubulações. Neste caso em especial, estas tubulações têm 50 mm de diâmetro externo, sem contar a dimensão aumentada nas conexões indicadas como três linhas paralelas horizontais.

Figura 19 – Vista “C”: detalhe de hidráulica.

Na Figura 20, o detalhe em planta, da mesma situação, também apresenta omissão dessa peça de fixação. Esta peça interfere com as tubulações AF e AQ, conforme indicado, sendo necessário estudar uma nova distribuição interna no shaft. O modelo em 3D (Figura 21a) apresenta a situação acrescida da peça de fixação do

arranjo de tubulação de água quente e fria para o chuveiro. Ao acrescentar as guias e montantes de fixação da estrutura para a parede em gesso acartonado (Figura 21b) é possível perceber a necessidade de mais afastamento das tubulações e da fixação para o conjunto do misturador de água do chuveiro.

Figura 20 – Detalhe em planta de instalação hidráulica.

Figura 21 – Modelos em 3D, ilustrando o problema da omissão da peça de fixação do arranjo de tubulação de água quente e fria para o chuveiro e interferência com montantes para gesso acartonado

Este exemplo explica dois procedimentos típicos da representação do projeto em 2D: a *omissão* e a *simplificação* da informação, para que o desenho seja legível, em formato impresso, em plantas, cortes e elevações. Isso acaba por causar dificuldades para as análises de outros intervenientes no projeto e explica, em certa medida, porque é mais demorada a verificação do projeto em 2D, conforme identificado no estudo piloto. O coordenador de projeto, ou qualquer outro colaborador no processo de projeto, precisa recriar mentalmente, com muito cuidado, o espaço com as informações omissas ou simplificadas.

Com o uso do CAD 2D em substituição à representação impressa, seria possível ao projetista de hidráulica representar todas as informações e em tamanho real, mesmo em 2D, especialmente em função das possibilidades de “zoom” e múltiplas camadas (*layers*), que permitiriam ampliar detalhes pequenos para visualização adequada e ocultar outros desnecessários num certo momento.

Estima-se que o detalhamento em 2D seja tanto ou mais trabalhoso que o modelagem em 3D, considerando-se que, em seguida, deveria ser procedida a simplificação da informação para representação “legível” no papel, em escala. De qualquer forma, uma parte significativa do objeto real é omitida da representação, que se reduz a apenas a um corte de um único ponto de vista.

3.2.4. Classificação das limitações da representação técnica em 2D

A análise dos problemas identificados no desenvolvimento dos projetos de vedações possibilitou perceber que suas origens não estão relacionadas diretamente ao uso da tecnologia CAD, mas às representações típicas do desenho bidimensional. Isto evidencia que, independentemente da tecnologia CAD, a representação técnica bidimensional carrega uma série de limitações. Algumas delas até poderiam ser resolvidas com o uso adequado do CAD 2D, mas a modalidade de uso corrente é o de transformá-lo em mera “prancheta eletrônica”, não corrigindo as deficiências relacionadas à mídia impressa.

Também foi possível obter evidências de que os problemas com a representação 2D, potencialmente resolvidos com o emprego do modelagem 3D, estavam relacionados a várias categorias (construtibilidade, compatibilidade e especificação) (CODINHOTO; FERREIRA, 2004), não se limitando à compatibilidade. Já os problemas de Coordenação tinham características de natureza diferente, envolvendo gestão de processos de projeto, que requeriam o uso de sistemas de informação.

Através da análise dos dados dos projetos, foi possível também encontrar evidências de que o processo de desenvolvimento de projetos com o CAD 2D é baseado em inferências sobre informações incompletas ou parciais, corroborando o que se constatou anteriormente. O projeto feito em 2D é baseado na necessidade de recorrente recomposição mental do espaço 3D, a cada vez que se analisa a representação, tomando mais tempo do projetista.

Desta forma, este trabalho identificou um grupo de cinco tipos de problemas recorrentes no projeto desenvolvido em CAD 2D, conforme apresentado na Tabela 9, cuja classificação para esses problemas é apresentada através dos exemplos, que justificam e, ao mesmo tempo, explicam a interpretação feita durante a análise dos projetos.

A identificação destas características típicas da representação bidimensional indica um melhor entendimento das razões que limitam o processo de projeto quando baseado nesse tipo de modelo. A situação torna-se mais comprometedora para a qualidade do processo de desenvolvimento de projetos, na medida em que este tipo de recurso é utilizado para a comunicação entre projetistas de diferentes especialidades. Observando sob essa ótica, as questões de ambigüidade, por exemplo, podem causar interpretações errôneas por especialistas de outra área que não partilham do mesmo conhecimento. É importante frisar que o processo de projeto envolve, muitas vezes, profissionais que não são da área de engenharia, ligados à administração do negócio, que por vezes têm que consultar documentos técnicos e gerar pedidos de compras ou executar outros procedimentos.

Uma característica relevante da representação 2D, em planta ou elevação, é que esta é apenas uma parte de um todo. Ao ser visualizada, uma parte significativa do todo é subentendida através de convenções e notações. Ou seja, uma planta é uma

parte da informação espacial, com vista de um ponto específico e para uma parte limitada do espaço.

Tabela 9 - Características da representação em 2D que podem gerar problemas de análise no processo de projeto resultantes desta pesquisa,

Característica	Descrição	Exemplo
Ambigüidade	A mesma representação pode ser interpretada de mais de uma forma, mesmo que adicionada de notas, símbolos ou esquemas, em geral em algum ponto do contexto do desenho que pode não ser claramente percebido.	A representação das vigas que estão no mesmo plano ou em níveis diferentes (invertidas), em que essas diferenças são representadas em seções que podem passar despercebidas pelo projetista.
Simbolismo	O objeto é representado por um símbolo cujas dimensões e formas não têm relação com o objeto real que representa.	A indicação dos pontos de elétrica (interruptor, tomada alta ou baixa etc.) usa símbolos fora da proporção com o objeto real que representam, induzindo o projetista a ignorar as relações espaciais reais.
Omissão	Na tentativa de tornar o desenho mais sintético, são omitidas informações consideradas “óbvias” para o especialista que está projetando. Entretanto, para a análise de outros envolvidos, a informação em geral é desconhecida e, por não estar representada, não é levada em consideração. Também pode se caracterizar pela omissão de uma elevação ou corte necessário para a correta interpretação do projeto.	Em um dos problemas identificados, o projetista não representou a peça metálica de fixação do conjunto flexível de água quente e fria do misturador do chuveiro. Para o projetista de hidráulica, era óbvio que aquele conjunto não ficaria no ar. Porém, a interferência com a estrutura para a parede de <i>drywall</i> e a existência de um <i>shaft</i> com tampa removível, apertou a instalação dentro do shaft, quando se considerou a peça de fixação dos misturadores.
Simplificação	O projetista simplifica uma determinada representação, alterando o volume real do objeto ilustrado. Este problema é semelhante ao do simbolismo, porém, diferentemente deste, a simplificação guarda algumas relações de forma e dimensão com o modelo real, porém esta característica não as representa explicitamente.	O projetista de hidráulica freqüentemente representa como uma simples linha ou curvas as tubulações de água quente e fria. Estas tubulações, em geral, têm diâmetros de 40 ou 50 mm, praticamente a metade da dimensão da tubulação de esgoto (de 100 mm). Em espaços muito restritos, esse tipo de representação sempre compromete a análise das reais ligações entre as diversas peças.
Fragmentação	A fragmentação está relacionada à separação da informação em várias vistas ortográficas (planta, elevação, corte) e pode ser agravada com a eventual representação destas vistas em folhas separadas. O esforço cognitivo é aumentado quando é necessário correlacionar informações representadas em duas vistas diferentes, favorecendo o erro. Esse procedimento é diferente do desenho mecânico, onde as vistas devem sempre ser alinhadas, facilitando a correlação dos detalhes das vistas.	O projetista de elétrica, em um dado projeto, indicou a altura de uma arandela na escada. As vigas da escada nem sempre estão no mesmo nível do pavimento tipo. Para poder compreender o todo e evitar que a arandela acabasse ficando na viga, seriam necessários cortes e ou elevações para o entendimento dos vários níveis.

Quando a solução de projeto é simples, por exemplo, quando todas as vigas estão no mesmo nível, em geral a visão parcial dos projetos em 2D não causa problemas. Porém, quando as situações são complexas, por exemplo, quando há vários níveis ou os objetos têm formas complexas, é necessário ter disponíveis vários cortes e/ou detalhes.

No experimento a seguir, foi possível confirmar a validade das observações sobre essas características, através da percepção dos próprios projetistas. Os projetistas que participaram do experimento admitem, em vários momentos, que a representação bidimensional implica que os demais participantes tenham conhecimento dos códigos, convenções, símbolos, omissões. Eles também admitem que, quando são solicitados a compatibilizar sua parte com os demais projetos, essas limitações geram uma grande carga de trabalho e com alto risco de interpretações erradas, comprometendo, em última instância, a qualidade do projeto.

Por fim, acredita-se que uma representação realística dos objetos (em CAD 3D) ajuda no envolvimento de diversos participantes, com conhecimentos distintos, proporcionando o enriquecimento do processo de desenvolvimento do projeto e do produto.

3.3. Experimento Exploratório

A segunda parte da pesquisa (seção 3.2) foi conduzida a partir da análise detalhada dos tipos de problemas percebidos durante o processo de desenvolvimento de projetos de vedações em CAD 3D, que utilizou o método proposto neste trabalho. Esta análise conduziu à identificação de problemas típicos da representação em 2D que indicaram limitações ao processo de projeto, especialmente no que diz respeito à compatibilização espacial.

Esta terceira parte da pesquisa, descrita a seguir, teve por objetivo buscar evidências que apoiassem, qualitativamente, os julgamentos emitidos acerca das limitações da representação 2D para o desenvolvimento de projetos / compatibilização e identificar se estas limitações podem ser superadas pelo uso do CAD 3D.

3.3.1. A preparação do experimento

O experimento foi preparado a partir do acompanhamento do desenvolvimento de um projeto real. Este projeto objetivava o detalhamento das instalações hidráulicas para permitir a elaboração da documentação técnica para montagem de conjuntos (kits de hidráulica) a ser utilizada no canteiro de obra.

Para o desenvolvimento deste projeto, foram modelados em CAD 3D, através do método proposto no capítulo 4, os subsistemas de hidráulica, ar condicionado, vedações, revestimentos e estrutura. Tendo em vista que o objetivo era montar um conjunto detalhado de informações para montagem da hidráulica, apenas os elementos deste subsistema foram modelados em nível de detalhe realístico. Os demais subsistemas foram modelados apenas em seu volume externo, para verificação de interferências.

Ao elaborar o projeto usando o CAD 3D com vistas a detalhar o projeto para um melhor desempenho em obra, o projetista de vedações se deparou com alguns problemas quanto à informação fornecida pelo projetista de hidráulica, representada em CAD 2D.

A partir dos modelos em CAD 2D e CAD 3D, foram selecionadas situações que continham problemas de compatibilidade geométrica entre os diversos subsistemas. Estes problemas foram percebidos somente após a modelagem em 3D e foram utilizados para a condução de entrevistas semi-estruturadas, para averiguação das conclusões anteriores.

3.3.2. Entrevista semi-estruturada

Foram submetidos ao experimento, através de entrevistas semi-estruturadas, 4 coordenadores de projetos e 4 projetistas.

As entrevistas foram conduzidas em 3 partes:

1. Levantamento do perfil profissional do entrevistado e de sua empresa;

2. Apresentação dos modelos em 2D e 3D, separadamente e nessa ordem;
3. Questionamentos gerais ao entrevistado sobre a sua percepção em relação aos dois modelos em 2D e 3D, procurando generalizar para além dos modelos observados;

O questionário para levantamento do perfil do entrevistado/empresa foi o seguinte:

4. Qual o software que você utiliza hoje?
5. Você já usou o CAD 3D para projetar?
6. Quantos projetistas há na empresa?
7. Nome da empresa;
8. Experiência (em anos) do respondente;
9. Função do respondente.

Na segunda parte da entrevista, o profissional foi solicitado a observar uma das situações selecionadas (vide próxima seção), com vistas a identificar possíveis incompatibilidades espaciais. Primeiro, o entrevistado observou o modelo em CAD 2D e foi deixado livre para identificar possíveis interferências. Os comentários eram verbais e foram feitas gravações em áudio e vídeo desses momentos, com permissão dos entrevistados. Em seguida, a mesma situação foi apresentada em modelo 3D e, do mesmo modo, o entrevistado ficou livre para observar e comentar.

Foi dada também aos entrevistados a oportunidade de navegar pela representação, utilizando os recursos de zoom. Caso desejasse, poderia pedir auxílio à pesquisadora para posicionar os modelos 3D no ponto de vista que julgasse mais adequado para sua observação.

Após a análise do entrevistado a partir do modelo, a pesquisadora formulou as seguintes perguntas, que também foram gravadas em vídeo:

10. Foi mais fácil perceber o problema identificado em 3D do que em 2D?

11. A representação bidimensional (plantas, elevações e cortes) tem limitações importantes para uso em projeto de edifícios?
12. O uso do CAD 3D pode reduzir significativamente as interferências espaciais entre os vários sistemas no projeto de edifícios?

3.3.3. Os modelos selecionados para aplicação do experimento

Os modelos 2D e 3D foram selecionados a partir de um projeto real, em que o edifício foi totalmente modelado em 3D para fins de desenvolvimento de projetos de produção. Uma grande construtora de São Paulo contratou o serviço de projeto integrado para produção em CAD 3D. Esse serviço envolveu o projeto e as validações, através de reuniões interativas com o uso de projeção em vídeo, junto com os projetistas do produto (arquitetura, hidráulica, elétrica etc).

Assim, a descrição do problema foi das reuniões de validação junto com os demais projetistas e coordenadores, que representam tradicionalmente suas informações de projeto em CAD 2D.

Por fim, a pesquisa buscou relacionar os problemas identificados com as características de representação 2D que levam limitações ao processo de desenvolvimento de projeto, descritas na segunda estratégia desta pesquisa (ver 3.2). Estes problemas foram classificados segundo as essas características: ambigüidade, simbolismo, omissão, simplificação, e fragmentação. Estes modelos também foram associados às categorias de problemas identificados pelo estudo de Codinhoto e Ferreira (2004⁴)

A seguir, são apresentadas as imagens dos modelos selecionados, de acordo com a e característica e categoria de problema relacionadas à representação em 2D. Os

⁴ Adaptado de Codinhoto e Ferreira (2004). O trabalho original previa quatro categorias de problemas: compatibilização, construtibilidade, coordenação e especificação. Neste trabalho, foi acrescido o conceito de “racionalização”, que diz respeito à percepção de alguns problemas que não estão relacionados à construtibilidade, porém a uma forma mais econômica de executar o serviço em obra.

modelos também são acompanhados de uma descrição do problema que possibilitou a análise sugerida por esta pesquisa.

Simplificação e Simbolismo

- **Modelos do experimento:** Figura 22 e Figura 23
- **Categoria do problema:** Especificação
- **Descrição do problema:** Na representação em CAD 2D oferecida pelo projetista de hidráulica, não estão claras as ligações do ralo com a tubulação, incluindo as reduções. Graficamente, o ralo estava representado com aproximadamente 120 mm, o que induziu o projetista do kit de hidráulica a interpretar como se fosse um ralo de 100 mm. Ao mesmo tempo, não havia informação precisa na legenda para o símbolo utilizado. Durante a reunião de validação, o projetista de hidráulica explicou que aquela representação era simbólica e em geral o ralo poderá ser de 75 mm, a critério do empreiteiro e ainda justificou que, "se ele for bom, escolhe a melhor solução".
- **Análise:** Esta situação envolve dois tipos de características de representação em 2D: a simplificação e o simbolismo. A simplificação é observada na medida em que a tubulação que liga a prumada ao ralo está representada sem dimensões reais, apenas como uma linha. Exatamente essa situação é que sugeriu que a representação do ralo com 100 mm (induzido graficamente) poderia não ser a solução mais racional. Ao buscar informações em legendas ou outras notas, faltavam informações de especificação. Por isso a categoria do problema foi identificado como relacionado à especificação. Quanto ao simbolismo, o próprio projetista explicou em reunião o procedimento comumente adotado na forma de projetar em 2D. Um aspecto relevante observado foi a maneira como o projeto é desenvolvido e como as decisões são repassadas para a obra, ao invés de serem solucionadas em projeto.

Figura 22 – Representação em 2D da situação em Figura 23.

Figura 23 – Modelo em 3D do ralo ligado à prumada na varanda

Ambigüidade

- **Modelos do experimento:** Figura 24, Figura 25 e Figura 26
- **Categoria do problema:** Racionalização
- **Descrição do problema:** Em planta, o projetista representou em 2D duas linhas paralelas para água quente e fria. Essa informação foi interpretada como sendo um desvio solicitado no projeto, que implicou o uso de cotovelos, conforme a Figura 25. O projetista explicou que não é possível representar duas linhas, uma sobre a outra, em 2D, o que obriga a usar um artifício que é representar duas linhas paralelas, com um aparente desvio. O projetista também justificou que a obra em geral “sabe disso”.

- **Análise:** A representação em 2D não permite representar a sobreposição de duas tubulações, como neste caso. Assim, o projetista lança mão de artifícios e outras representações que pode induzir a diversas interpretações, dependendo da experiência e do conhecimento tácito dos envolvidos na produção. Este tipo de características foi associada à ambigüidade. A solução adotada conforme a Figura 26 pode ser interpretada como uma ação de racionalização por parte do projetista de produção ou da obra.

Figura 24 – A representação em 2D indica um “aparente” desvio da água quente e fria, próximo a onde está indicado V6.

Figura 25 – Solução conforme a interpretação da representação em 2D da Figura 24.

Figura 26 – Solução racional para a situação representada na Figura 24.

Fragmentação

- **Modelos do experimento:** Figura 27, Figura 28 e Figura 29
- **Categoria do problema:** Especificação
- **Descrição do problema:** A ligação de água para o vaso sanitário e para o bidê (Figura 27), estava representada saindo do ramal que também se liga às pias, em planta. Em elevação (Figura 28), as ligações para o vaso sanitário e bidê vinham pela parede, passando por baixo da banheira, não estando de acordo com a informação em planta.
- **Análise:** O fato de o projetista desenhar duas vezes a mesma informação (em planta e em elevação) coloca em risco a consistência nas informações. Esta característica da representação em 2D está relacionada à sua fragmentação.

Figura 27 – Em planta, a hidráulica é detalhada passando pelo pavimento inferior, saindo próximo da pia para o vaso sanitário.

Figura 28 – Em elevação, o projetista apresenta o detalhe passando pela parede horizontalmente.

Figura 29 – Representação através do CAD 3D, com a solução integrada de todo o espaço.

Simbolismo

- **Modelos do experimento:** Figura 30 e Figura 31
- **Categoria do problema:** Compatibilização
- **Descrição do problema:** A construtora indica um padrão geral de alturas de caixa de elétrica. O projetista de elétrica utilizou esse padrão, porém, não avaliou interferências com outros subsistemas. Neste caso, como a solução de hidráulica foi passar a alimentação de água quente e fria pela parede, coincidiu com a altura da caixa de elétrica da banheira. Outro dado é que a tubulação de hidráulica não poderia passar mais profundamente na parede, sob o risco de lhe retirar a estabilidade, por um corte profundo dos blocos da alvenaria. Ao mesmo tempo, a caixa de elétrica também tem que estar na face da parede. A solução foi elevar o ponto e utilizá-lo fora do padrão orientado pelas diretrizes da construtora.
- **Análise:** O uso de um símbolo para representar o ponto de elétrica para alimentação da banheira é de difícil associação com a realidade, pois, além de ser representado com uma dimensão muito diferente, é posicionado fora da parede. Se os envolvidos não estão muito familiarizados com a simbologia,

podem não dar o valor devido à representação e não observar uma possível interferência, como de fato houve.

Figura 30 – O padrão de altura da caixa de elétrica interfere com a hidráulica.

Figura 31 – Representação em 2D da elétrica e hidráulica.

Fragmentação e Simplificação

- **Modelos do experimento:** Figura 32, Figura 33 e Figura 34
- **Categoria do problema:** Compatibilização
- **Descrição do problema:** O projetista de hidráulica indicou uma furação em planta para o projetista de estrutura. Ao analisar o modelo em 3D, foi possível observar que havia uma pequena interferência vertical e horizontal na dimensão indicada. Foi solicitado um aumento do furo para a passagem das instalações. Durante a reunião de validação, o projetista tentou justificar que as instalações de água quente e fria poderiam ser “apertadas” durante a execução, fazendo com que as tubulações passassem por dentro do furo indicado. O projetista também justificou que tinha feito cortes para avaliar a posição e considerou satisfatório. Para uma análise mais detalhada, usando a representação 2D, seriam necessários vários cortes, incluindo em situações antes e depois dessa passagem da tubulação especificamente, em função da dependência da instalação quanto a caimentos e ligações em pontos específicos de prumadas ou a outros equipamentos. Durante a validação com o projetista, este confirmou que para essas situações seriam necessários muitos cortes e muito cálculo e que há sempre riscos de erros.
- **Análise:** Este tipo de problema foi classificado como de compatibilização, uma vez que há interferência entre dois ou mais subsistemas. Quanto à fragmentação, esta pode ser percebida pelo fato de que apenas uma representação não é bastante para identificar se o furo era suficiente. A simplificação é observada na representação das tubulações de água quente e fria que, apesar de muito menor que a de esgoto (25 mm contra os 100 mm do esgoto), ocupam um espaço significativo. A simplificação da tubulação, como neste e em outros casos, desvaloriza o efetivo espaço ocupado pela instalação e colabora para análises incompletas ou mesmo com enganos.

Figura 32 – Solução apresentada em planta, onde já era possível levantar a hipótese de que as instalações estariam muito apertadas dentro do furo. Porém faltavam detalhes em cortes para a avaliar outras interferências

Figura 33 – O furo na viga não é suficiente para a passagem da instalação hidráulica.

Figura 34 – Corte no modelo 3D, com evidências das interferências do furo. A posição do esgoto não podia ser mudada devido a dependências de outras ligações dentro do shaft.

Fragmentação

- **Modelos do experimento:** Figura 35 e Figura 36
- **Categoria do problema:** Compatibilização
- **Descrição do problema:** Os projetistas de ar condicionado e de hidráulica trabalham isoladamente e cada um pediu uma furação para passagem de seus subsistemas na estrutura, segundo a análise individual. Não foram analisadas detalhadamente as alturas. Os projetistas argumentaram que deveriam fazer vários cortes para definir com precisão as alturas, conforme pode ser observado no modelo 3D.
- **Análise:** A fragmentação da informação dificulta a percepção do que ocorre no espaço. É necessário um esforço maior para avaliar se há ou não interferência, multiplicando o número de representações em cortes. Esse procedimento pode piorar a condição de análise, na medida em que o raciocínio do projetista evolui e pode acumular erros de interpretação.

- **Descrição do problema:** O projetista de hidráulica apresentou uma elevação com a necessidade de se recortar o forro, que estava interferindo com a saída da chaminé do aquecedor a gás. Durante a reunião de validação, foi proposto pela coordenação, juntamente com outros envolvidos, que se fizesse um forro inclinado, em função de aspectos estéticos. Ao tentar representar o forro inclinado, houve interferência com outras instalações que estavam no mesmo alinhamento da chaminé e que interferiam também com o forro, como pode ser visto na Figura 38. A solução foi reavaliar, com o modelo completo em 3D, mudanças das demais instalações, com diversos desvios para garantir o aspecto estético e a dimensão mínima necessário para o uso do espaço.
- **Análise:** A principal evidência nesta representação em 2D foi que o projetista omitiu uma série de instalações para “limpar” a representação em 2D que consolidava uma solução de projeto. Porém, nesse processo de “limpeza”, outros intervenientes (a arquitetura, por exemplo) não puderam perceber que não seria possível seguir a solicitação do projetista de hidráulica, recortando o forro ou mesmo inclinándolo, devido a interferências com outras instalações. Este problema também foi associado à compatibilização, por envolver mais de dois subsistemas.

Figura 37 – Saída da chaminé do aquecedor na viga.

Figura 38 – A mesma situação da figura anterior, porém retirada a viga para visualização da interferência com o forro.

Figura 39 – Vista elaborada pelo projetista em 2D, com a interferência da saída da chaminé com o forro, sem as tubulações adicionais que passam pela mesma situação. Se for executada a

“reentrância” proposta pelo projetista, algumas instalações não cabem mais na altura indicada de sanca.

Simplificação

- **Modelos do experimento:** Figura 40 e Figura 41
- **Categoria do problema:** Compatibilização
- **Descrição do problema:** O projetista não representou os detalhes de mudança de níveis em planta da tubulação de água fria, para que fosse possível passar pelo furo indicado. O furo levou em consideração prioritariamente a passagem de esgoto. O que se observou no modelo em 3D foi a necessidade de desvios na tubulação de água, para entrar dentro do furo, com a conseqüente inserção de cotovelos. Esta solução poderia ser melhorada com a elevação do furo e uma inclinação maior da saída da tubulação (em amarelo na Figura 41) que liga um ralo da varanda à prumada P9 (Figura 40).
- **Análise:** As tubulações foram representadas de maneira muito simplificadas, não expressando as soluções para evitar as interferências conforme pode ser observado no modelo em 3D.

Figura 40 – Representação em 2D da distribuição das instalações e a indicação de um furo para passagem das mesmas (ver também Figura 41).

Figura 41 – A instalação não entra dentro do furo previsto na estrutura e solicitado por hidráulica, a não ser com a introdução de mais dois cotovelos para descer o nível da mesma. Porém, essa informação em planta, na figura anterior, não está explícita.

3.3.4. Análise dos resultados

Para a análise dos resultados das entrevistas gravadas em vídeo, os diálogos e reações foram compilados conforme a descrição no Anexo 6. Após a compilação das frases, foram destacadas palavras-chave que trouxeram evidências sobre o modo de perceber as interferências através dos modelos 2D e 3D.

Também foram observados (entre colchetes) expressões não verbais, como risos, demonstração de dúvidas ou satisfação, além de informações complementares para situar o comentário no contexto. Por exemplo, o entrevistado identificado como COO.3, ao observar o modelo em 3D, depois de solicitar à pesquisadora que girasse o modelo para melhor visualização, “sorriu com muita satisfação de ver exatamente o modelo, mas não fez maiores comentários”.

Em relação às observações verbais dos entrevistados quando observavam o modelo 2D, destacam-se as seguintes:

- (COO.4, Estrutura) “É difícil a gente ver a interferência da instalação com estrutura nessa plataforma [com todas as informações sobrepostas]. Eu prefiro ver a estrutura limpa.”

- (PRJ.3, Estrutura) “A análise com a planta é bastante complicada.”
- (COO.3, Ventilação Mecânica) “Eu não tinha percebido quando posicionei o duto... Quando eu recebi a base de hidráulica.... a gente modificou.”
- (PRJ.4, Arquitetura) “[Você faria isso como, para identificar a interferência?] O furo é só dar uma calculada.” [...] “Seria mais com corte e essas vistas para ver se há interferência.”
- (PRJ.2, Ventilação Mecânico) “Aqui... eu só vou perceber quando tiver o corte e as alturas.”
- (COO.1, Construtora) “Quando você tem em 2D, você tem que fazer as contas.... É uma coisa mais demorada [para analisar].”

Outro aspecto importante anotado, foi o tempo de observação sobre os modelos. Um dos entrevistados depois de 12 minutos observando o modelo 2D e solicitando informações complementares, como vistas, elevações, cortes, disse que não via nenhuma interferência. Ao observar o modelo em 3D, levou 55 segundos para identificar a interferência (Tabela 10).

Não foram marcados os tempos do COO.2 e do PRJ.1, pois ambos já conheciam os modelos em 3D utilizados no experimento. Neste caso, foi dada maior atenção aos comentários conforme registrados no Anexo 6.

O PRJ.4, com formação em arquitetura demorou mais tempo na análise do modelo em 3D, pois fez diversas solicitações ao longo da entrevista e observou vários pontos de interferência. Dois dos projetistas não tinham tido experiência em prancheta, pois eram os profissionais mais novos e com menos experiência (7 e 11 anos) (Gráfico 5). Porém, o PROJ.1 já teve experiência esporádica em modelar em 3D. Porém, expressou sua opinião de que é um processo muito demorado e tentou justificar pela falta de habilidade e conhecimento dos recursos da ferramenta do CAD 3D.

Gráfico 5 – Distribuição da experiência profissional entre os entrevistados (em anos).

Todos os demais entrevistados nunca tiveram experiência com o CAD 3D e um dos coordenadores (COO.4) não utiliza o CAD para suas atividades de projeto. Todos os entrevistados não perceberam a interferência ou sugeriram possíveis interferências, ao observar o modelo em CAD 2D. Entretanto, ao observarem os modelos em 3D, todos identificaram algum tipo de interferência espacial.

O que se pode concluir desse experimento é que o modelo em CAD 3D contribuiu para a percepção visual de interferências. Em geral, após observarem o modelo em 2D e mesmo não percebendo qualquer interferência, alguns dos entrevistados quase que imediatamente identificaram as interferências no modelo 3D.

Os comentários também corroboram que o exercício visual para identificação de interferências, usando o modelo 3D, reduz muito o esforço por parte do projetista. Um dos entrevistados chegou a comentar que “preciso aprender essa ferramenta” e reiterou que após tentar explicar através de croquis, verbalmente e por texto à projetista de arquitetura sobre uma interferência, quando foi enviado o modelo em 3D, a arquiteta percebeu rapidamente do que se tratava.

4. PROPOSTA DE PROCESSO PARA O USO DO CAD 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS PARA PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES

Este capítulo apresenta uma proposta para o uso do CAD 3D no desenvolvimento de projetos para produção de vedações, resultado da experiência de 15 anos desta pesquisadora . Esta proposta foi considerada validada pelos resultados comerciais do escritório na aplicação constante do método aqui descrito. Os processos de desenvolvimento de projetos baseados nesta tecnologia na empresa apresentaram suficiente maturidade na estruturação da informação, de modo a tornar eficiente e eficaz o uso do CAD 3D.

Tendo em vista que atualmente nenhum dos projetos que servem de dados de entrada para o projeto de vedações utiliza-se do CAD 3D, o início do processo do projeto de vedações dá-se com o recebimento das informações gráficas em 2D, simplesmente impressas ou em formato digital (arquivos de CAD 2D). Portanto, neste trabalho, será apresentado o modelo de processo de projeto com base nessa premissa de recebimentos dos projetos dos demais intervenientes em CAD 2D.

Este processo de projeto desenvolve-se com a modelagem de todos os subsistemas que interferem diretamente nas vedações, em nível detalhado para a análise de inconsistências geométricas. Os nível de detalhamento dos demais subsistemas é tanto mais aprofundado, quanto maiores forem as especificações fornecidas pelos projetistas do produto.

4.1. Princípios para a modelagem em 3D

Modelar em CAD 3D exige alguns cuidados iniciais e durante o processo para que se possa usufruir ao máximo dos recursos que esta tecnologia dispõe. Dentre esses princípios, destacam-se:

- É necessário definir uma nomenclatura adequada para cada objeto;

- É recomendado que os objetos sejam agrupados em famílias e ou organizados com base em uma hierarquia (que é a proposta deste trabalho);
- Os objetos devem ser construídos em função de um ponto de referência adequado (0,0,0) e uma unidade de medida coerente com a precisão de produção do mesmo;
- Os arquivos recebidos das demais disciplinas (arquitetura, estrutura, instalações e outros) devem ser ajustados, se necessário, à unidade de medida e à referência global definidas;
- Deve ser utilizada a técnica de modelagem de sólidos, sendo os objetos modelados fielmente;
- É recomendado que os objetos sejam controlados em suas versões.

A seguir, serão discutidos cada um desses princípios.

4.1.1. Nomenclatura dos objetos

Ao modelar um objeto é necessário que o mesmo receba as identificações adequadas. A estrutura de nomenclatura do objeto, na forma de um arquivo, e ou de informações internas ao mesmo, na forma de níveis (layers), dependem do sistema CAD e do sistema operacional que se está utilizando. Mas é fundamental que se estude, em função do processo de projeto, a forma mais adequada de identificar os objetos para a sua modelagem.

A título de exemplo, sob a plataforma MS-DOS, havia uma série de limitações para a nomenclatura de arquivos e layers. Essas restrições tinham que ser levadas em conta e refletiam em uma dificuldade adicional quando o número de objetos crescia muito. Atualmente, a condição tecnológica é muito favorável à exploração, inclusive, de outras tecnologias mais robustas e flexíveis para garantir que cada objeto tenha uma identidade própria.

4.1.2. Agrupamento dos objetos

É recomendável que os objetos sejam agrupados por famílias e ou por um modelo hierárquico. Este trabalho sugere uma classificação hierárquica (SIMON, 1981⁵ apud LAUDEUR et al., 2003), em que o edifício é entendido no nível mais alto em três grandes sistemas: organização do espaço, estabilidade e utilidades. A organização do espaço diz respeito à própria arquitetura ou ao produto, que envolvem também as especialidades ligadas à arquitetura de interiores e ao paisagismo. A estabilidade está relacionada à estrutura e às fundações, enquanto que as utilidades constituem-se das instalações elétricas, hidráulicas, ar condicionado e outros que forem necessários à definição do produto.

As áreas técnicas relacionadas aos sistemas envolvem diversos subsistemas, hierarquicamente organizados, que podem ser melhor entendidos na Figura 42.

Figura 42 - Estrutura de decomposição da informação segundo sistemas e subsistemas (FERREIRA; CODINHOTO, 2004)

Para cada subsistema, no desenvolvimento do projeto, são modelados os componentes que, por sua vez, são constituídos de elementos (Figura 43). Por exemplo, o subsistema de vedações em alvenaria é composto pelos modelos de cada parede, que se constituem de elementos como blocos, vergas, contravergas. Entretanto, dentro de uma parede pode haver componentes e elementos de outros subsistemas, como elétrica e seus próprios elementos como caixas 4x2”.

⁵ SIMON, H.A.. The Science of the Artificial, Cambridge, USA, MA, 1981.

Figura 43 – Decomposição da edificação em sistema maior, sistema, subsistema, componente e elemento, com destaque para o exemplo em vedações brutas, baseada em Ferreira e Codinhoto (2004).

Os componentes, em geral, são montados a partir de uma biblioteca de elementos em 3D. Se necessário, são modelados elementos novos em função da demanda específica do projeto. Conforme o modelo apresentado por Lockhart e Johnson

(2000)⁶, esta é a fase de análise do problema. No caso dos elementos, estes são agrupados por famílias de elementos.

É possível também agrupar tipologias de paredes (componentes) ou até mesmo subsistemas (estruturas) em classes de famílias. Essa decisão depende do modo de produção da construção, de tal forma a tornar os objetos virtuais aderentes aos objetos reais. Essa condição possibilita expandir o 3D para incorporar outras informações, como o tempo, custo e processos. Entretanto, para isto, muitas vezes é necessário lançar mão de outras tecnologias associadas ao modelo 3D, que não serão tratadas neste trabalho.

4.1.3. Definição da unidade de medida e da referência global e o modelo único

Cada objeto deve ser modelado segundo uma unidade de medida que reflita a sua precisão de produção. Este ponto é de grande importância, pois, na construção de edifícios tem havido diversos impasses em relação à unidade de medida a ser adotada. Alguns projetos, mesmo em 2D, são representados em centímetros e outros em metros.

O que se deve perguntar na hora de decidir a unidade de medida é o quanto se está disposto a admitir de erro na produção daquele objeto, . Um bloco de concreto, por exemplo, admite um erro de $\pm 3\text{mm}$ em suas dimensões, segundo a norma. Portanto, é adequado, neste caso, que o bloco seja construído em milímetros.

No caso das medidas de um ambiente, qual a tolerância de erro? Em geral, é a tolerância é de 0,5 cm, conseqüentemente é adequado que se modele o edifício em centímetros. E assim por diante.

Esta condição de que, na hierarquia de classificação dos objetos, os mesmos sejam expressos em unidades de medidas diferentes, requer que o sistema CAD possa tratar as conversões adequadamente.

⁶ Ver tópico 2.3.

Do mesmo modo que a unidade de medida, é necessário identificar um ponto de referência global para a modelagem de cada objeto. E aqui mais uma vez, isto deve ser feito de forma adequada a manipular o objeto.

Nesta proposta, os objetos até o nível de componente devem estar relacionados à construção do edifício. Em geral, torna-se adequado que o ponto de referência global seja colocado no eixo do elevador, ou no eixo de simetria, ou mesmo no ponto de referência indicado pela topografia. Pode ocorrer, em um caso muito especial, que existam exigências por parte do poder público de que o modelo 3D deva ser inserido em um modelo geográfico. Provavelmente, neste caso, o 0,0,0 adequado será definido por esse órgão público.

No caso de elementos, o ponto de referência global do mesmo em geral recai sobre um detalhe geométrico importante do modelo através do qual este pode ser manipulado para ser inserido dentro do componente. No bloco de concreto, por exemplo, o 0,0,0 adequado é o centro geométrico do prisma externo. Isto porque durante o desenvolvimento de uma parede é necessário girar os blocos no eixo e usá-los horizontalmente e, em especial o $\frac{1}{2}$ bloco, tem suas dimensões iguais (19x19cm). Assim, manter o 0,0,0 no eixo do bloco facilita o manuseio do objeto.

Alguns componentes, como portas e caixilhos, precisam ter o seu ponto de referência global X,Y no eixo da elevação do objeto e o ponto Z no ponto relativo ao piso acabado. Isto se deve às características construtivas dos componentes de portas e caixilhos que dependem da referência do piso acabado e da espessura total acabada para ser inserido na parede.

A definição de uma referência global para o projeto é a condição para que se possa construir um modelo único, através do qual será possível extrair informações do todo e das partes, conforme a demanda do projeto. Mais para frente, na fase de fechamento do projeto, será possível compreender melhor a necessidade de se dar condições para a criação do modelo único.

4.1.4. Ajuste dos arquivos recebidos das demais disciplinas

Considerou-se neste trabalho que os arquivos recebidos das demais disciplinas estão representados em CAD 2D. Assim, é necessário ajustar os arquivos recebidos para a mesma unidade de medida e para a referência global definida para o projeto. No caso das plantas, o modelo em 2D deve ser ajustado em XY, mantendo o Z=0 (Figura 44).

Figura 44 – Projeto do sistema de organização do espaço (projeto do produto de arquitetura), onde o ícone XY está colocado no ponto de referência global (0,0,0).

No caso de cortes ou elevações, estas devem ser rotacionadas em torno de X ou Y para alinharem-se com Z. A Figura 45 apresenta o que normalmente é feito em termos de representação em 2D, com a informação no plano XY e com a coordenada Z, em geral, igual a 0. A Figura 46 contém o corte ajustado à posição XYZ relativa à referência global definida no projeto. O arquivo com os níveis de referência tem a finalidade de servir para os ajustes na coordenada Z.

Figura 45 – Corte original em representação 2D no plano XY.

Figura 46 – O corte em representação 2D ajustado à posição XYZ relativa ao modelo 3D, usando-se como referência os níveis de piso bruto.

4.1.5. Modelagem dos objetos

Os objetos devem ser modelados em sólidos, representando suas características geométricas de forma fiel. Não é adequada a simplificação demasiada ou a omissão de detalhes no projeto, sob o risco de se reproduzir em 3D limitações identificadas

em 2D. Os modelos representados desta maneira permitem usufruir dos benefícios de verificação automática de interferência, além daquela feita visualmente.

4.1.6. Controle de versões

É recomendável que haja um sistema de controle de versões dos objetos modelados. Uma das vantagens de sistemas eletrônicos é a possibilidade de se guardar toda a evolução de um processo e ao mesmo tempo poder reutilizá-lo em outras situações ou mesmo voltar a uma situação anterior.

Outra vantagem de se manter um processo de controle de versões é a oportunidade de se associar o modelo a sistemas de informação mais complexos, que podem atuar na gestão de usuários. Desta forma, consegue-se rastrear a evolução do desenvolvimento de um modelo e dos diversos profissionais que o manipularam.

4.2. As fases do processo do projeto de vedações e compatibilização com CAD 3D

Segundo o Guia do PMBOK (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2000), um projeto pode ser dividido em fases que marcam a entrega de produtos intermediários e possibilitam o amadurecimento gradual do produto final. O processo de desenvolvimento do Projeto de Vedações e Compatibilização proposto neste trabalho é dividido em quatro fases:

- Levantamentos e Estudos Iniciais;
- Desenvolvimento;
- Fechamento do Projeto;
- Assistência Técnica à Obra.

Tabela 11 – Quadro Insumo-Processo-Produto para o Projeto de Vedações Verticais em Alvenaria de Blocos

	INSUMO	PROCESSO	PRODUTO
FASE 1 – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS INICIAIS	<ul style="list-style-type: none"> Programa de necessidades Levantamento expedito 	<ul style="list-style-type: none"> Seleção Tecnológica para o Projeto de Alvenaria de Blocos 	<ul style="list-style-type: none"> Definições técnicas da alvenaria de blocos
	<ul style="list-style-type: none"> Definições técnicas da alvenaria de blocos Estudo de Arquitetura Estudo de Estrutura 	<ul style="list-style-type: none"> Modulação Vertical para Alvenaria de Blocos Análise de compatibilidade entre arquitetura e estrutura Modulação horizontal da Alvenaria Modulação vertical para Caixilhos 	<ul style="list-style-type: none"> Diretrizes / Parâmetros revisados Diretrizes para o dimensionamento estrutural Diretrizes para o dimensionamento de arquitetura Diretrizes para detalhamento de caixilhos Relatórios de Acompanhamento de Projeto Definições técnicas da alvenaria de blocos revisadas
	<ul style="list-style-type: none"> Anteprojeto de Arquitetura Anteprojeto de Estrutura Anteprojeto de Instalações Prediais 	<ul style="list-style-type: none"> Análise de compatibilidade entre instalações e demais projetos do produto Análise dos demais projetos do produto revisados 	<ul style="list-style-type: none"> Análise gráfica do Projeto de Instalações com os demais Definições técnicas da alvenaria de blocos revisadas Relatórios de Acompanhamento de Projeto
	<ul style="list-style-type: none"> Estudo do Projeto de Vedações (produtos dos processos anteriores) 	<ul style="list-style-type: none"> Aprovação (responsabilidade do cliente) 	<ul style="list-style-type: none"> Documento de Aprovação
FASE 2 – DESENVOLVIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Aprovação da etapa anterior Pré-executivo de Arquitetura Pré-executivo de Estrutura Pré-executivo de Instalações Prediais 	<ul style="list-style-type: none"> Detalhamento das paredes e de suas interfaces com os demais subsistemas Análise de compatibilidade entre vedações verticais com arquitetura, estrutura e instalações 	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios de Acompanhamento de Projeto Plantas de Marcações de Hidráulica e Elétrica Cortes de Modulação Vertical de Alvenaria Plantas de marcação de primeira fiada Elevações Relatórios preliminares para compra de blocos
	<ul style="list-style-type: none"> Pré-executivo do Projeto de Vedações (produtos dos processos anteriores) 	<ul style="list-style-type: none"> Aprovação (responsabilidade do cliente) 	<ul style="list-style-type: none"> Documento de Aprovação
FASE 3 – FECHAMENTO DO PROJETO	<ul style="list-style-type: none"> Aprovação da etapa anterior Executivo de Arquitetura Executivo de Estrutura Executivo de Instalações Prediais 	<ul style="list-style-type: none"> Finalização do Projeto Completo de Vedações em Alvenaria de Blocos 	<ul style="list-style-type: none"> Plantas de Marcações de Hidráulica e Elétrica Cortes de Modulação Vertical de Alvenaria Plantas de Marcações de Primeira Fiada de Alvenaria Elevações Legendas Detalhes gerais Critérios de execução Relatórios para compra de blocos
	<ul style="list-style-type: none"> Executivo do Projeto de Vedações (produtos dos processos anteriores) 	<ul style="list-style-type: none"> Aprovação (responsabilidade do cliente) 	<ul style="list-style-type: none"> Documento de Aprovação
FASE 4 - ASSISTÊNCIA À OBRA	<ul style="list-style-type: none"> Cronograma de obra Solicitação para visita 	<ul style="list-style-type: none"> Visita à obra nas seguintes etapas de produção: Marcação das instalações na estrutura no segundo pavimento tipo; Marcação de primeira fiada no segundo pavimento tipo; Elevação das alvenarias no segundo pavimento tipo. 	<ul style="list-style-type: none"> Relatório de visita à obra Proposta de alteração (caso haja necessidade)

A Tabela 11 apresenta a proposta deste trabalho para a organização do projeto em fases de desenvolvimento através do quadro de insumo-processo-produto. A seguir, os processos apresentados serão detalhados utilizando-se o CAD 3D como tecnologia básica, e que serão descritos a seguir.

4.2.1. Fase 1 – Levantamento e estudos iniciais

A primeira fase, como o próprio nome diz, é a de levantamento de informações e estudos iniciais, a partir dos quais são tomadas decisões sobre tecnologias e processos a serem adotados na execução das vedações. Esta fase é composta por quatro grupos de processos, conforme pode ser observado na Tabela 11, a saber:

- Seleção tecnológica;
- Modulação e compatibilização inicial entre arquitetura e estrutura;
- Compatibilização inicial entre todos os demais subsistemas;
- Aprovação do cliente.

4.2.1.1. Seleção Tecnológica

É no processo de seleção tecnológica que se definem os elementos que serão utilizados para o desenvolvimento do projeto. Ou seja, a construtora ou contratante escolhe, neste momento, a família de blocos que irá utilizar, por exemplo. Se já existir a família de blocos construída, é só utilizar os modelos no projeto. Caso não exista, será necessário criá-la.

A Figura 47 apresenta um exemplo de família de blocos juntamente com uma nomenclatura. Os três primeiros caracteres (letras) indicam que são da família de Blocos Vedação Selecta (BVS) de 19 cm de altura, produzidos em cerâmica. Os dois próximos caracteres representam a espessura do bloco (9, 11,5, 14 e 19 cm). Os três últimos números indicam a largura do módulo (4, 9, 14, 19 e 39 cm).

Figura 47 – Família de blocos cerâmicos da Selecta (EGÉA, 2004)

Na modelagem 3D de blocos de alvenaria, em geral utiliza-se a extrusão, ou seja, a varredura translacional. Aliás é exatamente desta maneira que são produzidos os blocos cerâmicos, por extrusão de um composto de argila. O bloco de concreto, que em geral utiliza uma forma metálica em sua produção, também pode ser modelado pelo mesmo processo no CAD.

Os demais elementos de uma alvenaria são: vergas, contravergas e peças pré-moldadas que substituem um bloco ou um conjunto de blocos e telas de ligação com pilar e outras paredes (Figura 48). À exceção de uma peça pré-moldada que possa ter uma forma especial ou um objeto especial, que tenha que ser utilizado para subtrair de um outro objeto (por exemplo, um furo numa verga), todos os elementos de uma alvenaria são modelados por extrusão.

Figura 48 – Componente de alvenaria e alguns elementos (blocos e contravergas)

Porém, a alvenaria de blocos não é a única tecnologia para execução de vedações verticais. Tem-se atualmente pelo menos mais uma tecnologia que são as paredes de gesso acartonado ou *drywall*. No caso da parede em gesso acartonado, os elementos são: placas, perfis para montantes e guias, reforços de madeira etc. Entretanto, de um modo geral, todos os elementos de uma parede em gesso acartonado também são modelos extrudados,

4.2.1.2. Modulação e compatibilização entre arquitetura e estrutura

O segundo grupo de processos inclui a modulação vertical e horizontal da alvenaria, que, conseqüentemente, envolve a compatibilização da arquitetura com a estrutura. Entende-se aqui que a arquitetura é a área técnica responsável pela organização do espaço e as vedações verticais são um dos subsistemas que implementam essa função da arquitetura. Assim, o ajuste do módulo do bloco tanto verticalmente quanto horizontalmente constitui por si a compatibilização entre arquitetura e estrutura, que nada mais é que o ajuste dimensional entre os dois subsistemas, considerando-se as restrições construtivas que cada um impõe. Por exemplo, o bloco da última fiada de alvenaria deve ter pelo menos 3 cm de junta, de tal modo

que a estrutura possa se movimentar, sem que esforços sejam transferidos para a alvenaria.

Figura 49 – Modelo de níveis básicos de piso bruto, em relação à definição do 0,0,0 absoluto, com cotas em metros, porém o modelo está em centímetros.

Nesse momento, é necessário ter um esquema inicial de níveis, para definir a base de assentamento da alvenaria e de ligação vertical no topo com a estrutura. Portanto, deve-se definir o ponto 0,0,0 do modelo do edifício como um todo. Em geral, isto é feito através da criação de um arquivo próprio com volumes esquemáticos dos pavimentos, como mostrado na Figura 49.

O esquema de níveis é utilizado para fazer a modulação vertical na posição relativa correta, no contexto do edifício, conforme é definido pelo 0,0,0. Isto permite o relacionamento entre a parte e o todo, e o todo e a parte. A Figura 50 apresenta a modulação vertical inserida no contexto do esquema vertical de níveis do edifício. E a Figura 51 apresenta a modulação em detalhe, onde pode ser observada a consistência da informação indicativa de cotas. Nota importante: as cotas precisam ser utilizadas associadas aos objeto. Esta informação não pode ser um texto isolado.

Figura 50 – Modulação vertical inserida no contexto do esquema vertical de níveis dos pavimentos.

Este processo envolve analisar os conceitos dos demais projetos, tendo em vista a seleção tecnológica inicial. Neste momento, é possível que seja necessário elaborar alguns modelos tendo em vista fazer a análise de compatibilidade, por exemplo, entre hidráulica e alvenaria. No entanto, os modelos ainda são estudos, mas que

devem ser posicionados em relação à referência global adotada. Isto permite a manutenção da integração e da integridade da informação gerada, possibilitando a análise de inconsistências, caso necessário.

Figura 51 – Detalhe da modulação vertical

4.2.1.3. Compatibilização inicial com os demais subsistemas

Como os projetos de instalações não são desenvolvidos em CAD 3D, também fica sob a responsabilidade do projetista de vedações modelar os elementos e componentes, no nível adequado para a compatibilização e utilizá-los para a validação com os demais integrantes da equipe.

4.2.1.4. Aprovação do cliente

Este é um processo formal de aprovação pelo cliente das soluções geradas. A partir dos modelos, pode ser necessário gerar documentação impressa. Essa documentação pode ser gerada de forma automática ou parcialmente automática através do CAD.

No AutoCAD®, por exemplo, uma vista, uma seção horizontal (planta) ou vertical (corte) podem ser obtidas por comandos simples: *solview* e *soldraw*. O primeiro recurso (*solview*) requer a identificação do ponto de vista que se deseja extrair (vista ou seção). O segundo (*soldraw*) desenha automaticamente a projeção do objeto, conforme a indicação anteriormente feita pelo usuário. Recursos semelhantes a estes geralmente estão disponíveis em todos os pacotes de CAD 3D.

4.2.2. Fase 2 – Desenvolvimento

A fase 2 inicia-se com o recebimento dos projetos consolidados conforme as decisões tomadas na etapa inicial. Nesse momento, devem estar definidos os níveis, ou pelo menos essa definição já deve estar num estágio de estabilidade. Isto exige que sejam revistos todos os modelos gerados em 3D até o momento, controlando-os através de novas versões.

Esta fase envolve apenas dois grupos de processos:

- Detalhamento das paredes e compatibilização;
- Aprovação pelo cliente.

Em todas as fases do desenvolvimento do projeto, é recomendado que haja sempre uma aprovação do cliente, de tal forma que possa ser feita a gestão de mudanças no processo. Desta forma, o que já foi descrito anteriormente, repete-se aqui e nas próximas fases.

4.2.2.1. Detalhamento das paredes e compatibilização

Este é o momento central do desenvolvimento do projeto de vedações, em que a compatibilização é parte do processo, conforme o que já foi visto antes como modelo conceitual do ciclo genérico de atividades de projeto usando CAD 3D (ver Figura 18).

Para detalhar as paredes, propõem-se algumas atividades de preparação, a seguir:

- Definir cada componente e suas características dimensionais;
- Identificar cada componente;
- Desenvolver a primeira e segunda fiadas de cada componente em um arquivo separado, devidamente identificado;
- Resolver as amarrações entre as paredes e completar a elevação, conforme a modulação vertical definida na fase anterior;
- Inserir componentes de outros subsistemas e resolver suas interfaces.

4.2.2.2. Definição e identificação de cada parede

A definição de cada componente e suas características é uma informação extraída do projeto de arquitetura (Figura 52). Esta extração envolve a individualização de cada componente e suas relações entre si e com outros subsistemas, em especial com a estrutura. Em resumo, uma parede é definida pelas relações espaciais onde está inserida, pois dessa condição a parede deve ser preparada para receber elementos que fazem as ligações entre os componentes de vedações e de outros subsistemas.

Figura 52 – Separação do projeto do produto dos subsistema de alvenaria.

A Figura 53 exemplifica um tipo de relação entre as próprias paredes, no que se refere ao tipo de amarração entre as mesmas. Construtivamente, as paredes de

alvenaria podem se amarrar por intertravamento dos blocos ou por tela. Portanto, tanto uma solução quanto outra exigirá a introdução no componente da parede de elementos como módulos de blocos ou telas, respectivamente, conforme a solução técnica.

Figura 53 – Trecho em destaque dos componentes do subsistema de alvenaria, com a representação de amarração intertravada

Definidas as paredes, estas devem ser identificadas e representadas em em um arquivo CAD separado do arquivo das paredes. A separação do modelo das paredes da sua identificação facilita a utilização desta informação para a montagem da documentação final que, em geral, deverá ser impressa para uso em obra.

. A Figura 54 representa a planta com os perímetros das paredes (em cinza) e a posição do ícone de identificação da parede e de posicionamento relativo do operário. O posicionamento do operário é simbolicamente representado por uma elipse (que simula um “olho”) mesclada com uma seta, que indica o lado em que o operário se encontra em relação à parede para executá-la. Em seguida, as paredes, que na maioria das vezes são retangulares, devem ser extrudadas até o limite das vigas e ou das lajes (Figura 55).

Figura 54 – Numeração das paredes com a indicação relativa do operário, através de um ícone simulando um “olho” (ponto de vista do operário) mesclado com uma seta de direção

Figura 55 – Modelo em 3D de parte do subsistema de vedações.

Uma vez identificadas as paredes (Figura 56), é necessário estabelecer o relacionamento entre elas. Em geral, nos edifícios de múltiplos pavimentos, uma solução recorrente é a existência de 2, 3, 4 ou mais apartamentos iguais por andar.

Assim, diversas paredes são idênticas, espelhadas ou possuem ligeiras alterações em relação a uma parede original. Este processo propõe o estabelecimento de uma tabela de relacionamento entre as paredes. Um exemplo é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Relacionamento entre as paredes

térreo		Tp-2º ao 14º			15º pav.		16º pav.
16	14	16	14	16	18	20	15
/		E	/	E	/	E	

LEGENDA

1	parede origem	2	parede idêntica	3	parede espelhada	4	parede filha
		I		E

Figura 56 – Identificação das paredes através de numeração individual.

As paredes podem dar origem a outras, com características idênticas ou espelhadas em relação ao observador (posição do operário para elevar a parede). As paredes também podem dar origem a novas paredes, com pequenas alterações. Por exemplo, uma parede que tem uma porta numa situação e, em outra situação, apenas a porta não existe. Esta parede passa a ser “filha” daquela de origem inicial.

As filhas tornam-se novas origens, que também podem ter outras idênticas, espelhadas e filhas. E assim por diante.

Em caso de alterações numa parede “filha”, é sempre recomendável ver se não houve alguma implicação com a parede que lhe deu origem.

As paredes que são idênticas ou espelhas são criadas com o uso de vínculos dinâmicos. A título de exemplo, no AutoCAD® os vínculos dinâmicos entre arquivos são possíveis através de referências externas (comando XREF). Isto garante a consistência das informações.

As paredes “filhas” são mantidas por vínculos dinâmicos até o ponto em que elas se mantêm idênticas à parede original. Quando se identifica que a parede está no momento de ter soluções específicas e diferentes da parede original, quebra-se o vínculo dinâmico e se continua a solução das diferenças dessa parede “filha”.

4.2.2.3. Desenvolvimento das paredes

O desenvolvimento das paredes inicia-se pela separação de cada componente em arquivos diferentes. Este procedimento é oportuno, pois permite que vários projetistas trabalhem simultaneamente, cada um desenvolvendo um grupo de paredes.

Ao separar os arquivos, é feito o lançamento da primeira e segunda fiadas, conforme o tipo de amarração vertical entre fiadas definido no processo de Seleção Tecnológica. Em seguida, a cada duas paredes, são analisadas e tomadas as decisões para a amarração, no caso de amarração intertravada. No caso de amarração por tela, simplesmente é necessário inserir-se a tela. Para as amarrações intertravadas, é necessário decidir qual fiada será interrompida para a passagem da fiada correspondente da parede com a qual se cruza.

Após a solução da amarração, é necessário inserir elementos de abertura na parede, tais como portas, caixilhos, elementos vazados etc. Juntamente com as aberturas, é necessário verificar a necessidade de inserir elementos de distribuição

de cargas sobre e sob as aberturas, que são as vergas e contravergas. Feito isso, eleva-se o restante das fiadas até o nível da(s) viga(s) e ou da(s) laje(s). Este é o processo de compatibilização das paredes com arquitetura (divisões e aberturas) e com a estrutura (vigas, pilares, lajes e outros elementos), conforme é exemplificado na Figura 57).

Figura 57 – Parede modelada individualmente e compatibilizada com a estrutura.

4.2.2.4. Compatibilização com os demais subsistemas

Após totalmente elevada a parede ou ainda durante as soluções de elevação, são inseridos os componentes dos subsistemas de instalações. Os subsistemas de instalações, assim como as paredes, são modelados em arquivos separados, conforme a sua própria organização.

Em geral, o modelo do sistema de elétrica é subdividido em alimentação de energia, TV, telefone, lógica e automação e outros, se houver. A hidráulica é subdividida em

subsistema de água quente, água fria, esgoto e gás, e podem formar componentes para cada ambiente, conforme o que for conveniente.

A modelagem 3D desses subsistemas requer não só extrusão, mas também a geração de sólidos por varredura rotacional, devido à forma típica de alguns de seus elementos. A modelagem desses subsistemas é feita paralelamente à modelagem das paredes, para que depois possam ser utilizados os vínculos dinâmicos (Figura 58). A utilização de vínculos dinâmicos possibilita-se fazer alterações no modelo original e este ser replicado em todas os arquivos onde está referenciado.

Feita a inserção dinâmica dos demais subsistemas, o processo é o de ajustes entre as partes até o ponto em que o projetista considere resolvidas as interfaces, ou seja, até o ponto em que ambos estão compatibilizados.

Figura 58 – Componente de esgoto.

O processo de compatibilização, no conceito de Lockhart e Johnson (2000), corresponde à iteração entre refinamento e análise. Este processo é dinâmico e cíclico, repetindo-se desde as fases iniciais até as finais, de modo que a compatibilização é parte intrínseca do desenvolvimento de projetos.

Neste processo de compatibilização, é necessário que haja um modo de operação que garanta a documentação de interferências, de demandas de informações e ou de decisões de terceiros identificadas durante a análise. A Figura 59 apresenta um exemplo de registro de incompatibilidade identificada durante um processo de análise, com o respectivo registro da solução. Esta solução foi desenvolvida através de programação em LISP e uso de recursos de extensão de dados no arquivo CAD, utilizada na Empresa 3D. Apenas para entendimento do exemplo, foi identificado que havia sobreposição das contravergas em janelas contíguas de vãos pequenos. Tecnicamente, é prescindível o uso de contravergas nessa situação e foi questionado junto à construtora se as mesmas podiam ser retiradas das paredes. A aprovação foi dada pelo cliente.

Relatório de Acompanhamento de Projeto

Projeta: Status:

Dados

Data: Hora:

Áreas Técnicas

Construtora,

Sistemas/Subsistemas

Alvenaria,

Pavimento: Ambiente:

Documentos Relacionados

Arquitetura

Descrição da Incompatibilidade

Mesmo nos casos em que o caixilho tem 60 cm de largura, será utilizada contra-verga?

Solução da Pendência

Projeta: Data da solução:

Fonte da Solução:

Descrição da Solução

Aprovação

Aprovado por: Data da Aprovação:

Descrição

Não há necessidade de verga.

OK Cancel Help

Figura 59 – Exemplo de registro de análise identificando uma incompatibilidade e sua solução, desenvolvido em LISP que insere informações estendidas nos objetos.

A compatibilização, com o uso do CAD 3D com modelos em sólidos, torna-se muito facilitada, tanto por identificação de problemas visualmente, quanto por recursos próprios dos sistemas que permite identificação de dois corpos ocupando o mesmo lugar no espaço. Esta característica é própria de modelos sólidos, uma vez que estes possuem informações em todo o volume de uma região no espaço, que lhes

permite detectar interferências entre objetos distintos. No AutoCAD®, por exemplo, o comando para detectar a interferência entre sólidos chama-se *interfere*.

Em geral, trata-se de um recurso muito simples existentes nos sistemas CAD 3D que, porém, demanda recurso intensivo de hardware. Considerando a capacidade dos equipamentos atuais, esse aspecto já não é crítico na tomada de decisão por se utilizar ou não o CAD 3D.

4.2.3. Fase 3 – Fechamento do projeto

A fase de Fechamento do Projeto constitui a consolidação das soluções, documentação final e liberação para a obra. A consolidação das soluções exige que tenham sido resolvidos todos os problemas detectados e aprovadas todas as fases anteriores pelo contratante.

A documentação final é constituída por plantas, vistas e seções que permitem aos operários executar as tarefas de produção da alvenaria simultaneamente com a execução das instalações. Em geral, no mínimo a elétrica é executada ao mesmo tempo que a alvenaria. A instalação hidráulica, dependendo da situação, deverá ser executada antes ou depois da alvenaria. Raramente há situações em que a hidráulica é executada simultaneamente com as paredes, porém, as soluções têm que prever essas situações.

Assim, a documentação do projeto de vedações verticais compreende:

- Plantas de marcação de passagens de instalações na laje;
- Plantas de marcação de primeira fiada (eventualmente também de segunda fiada, se o cliente solicitar);
- Cortes das modulações verticais, incluindo soluções para portas e caixilhos;
- Vistas ortográficas das paredes e, eventualmente, detalhes e ou perspectivas.

Para a geração dessa documentação, é necessário preparar as informações dos modelos. No caso das plantas, esta informação exige que se recomponha, em um

modelo único, todas as paredes. Isto pode ser feito mantendo um arquivo com vínculos dinâmicos de todas as paredes (Figura 60 e Figura 61).

Quando o projetista considerar que todas as soluções estão resolvidas, é possível, a partir desse arquivo, extrair uma seção da primeira e segunda fiadas de alvenaria (Figura 63) e das passagens de instalações na laje (Figura 62). Este arquivo de modelo único também é utilizado para checar as últimas inconsistências, conferindo se todos os objetos estão corretamente relacionados com a referência global adotada, se existem erros no modelo, que exijam correções e ou alterações.

Figura 60 – Detalhe de um conjunto de paredes em um modelo único.

Figura 61 – Paredes dinamicamente referenciadas num único arquivo, incluindo a estrutura.

Figura 62 – Modelo único com as elétricas atingindo as lajes, através do qual se faz uma seção tomando-se por referência o ponto de encontro entre os dois subsistemas (na figura a laje inferior, onde se apóiam os pilares foram omitidos, para melhor visualização).

Figura 63 – Trecho da primeira fiada em planta, extraída do modelo único.

4.2.4. Fase 4 – Assistência técnica à obra

A quarta e última fase, de Assistência Técnica, diz respeito ao atendimento ao cliente, representado pela obra. Este atendimento é feito por visitas à obra e/ou por atendimento por e-mail e/ou telefone. A empresa possui uma política de qualidade que indica a elaboração de documentos referentes a estes atendimentos, tais como um registro de atendimento telefônico, segurança em relação aos e-mails recebidos e registro de relatório de visitas à obra.

4.2.5. Considerações Finais

Esta proposta de uso do CAD 3D está baseada na experiência de 15 anos de desenvolvimento de projetos de vedações e compatibilização, através do qual a autora obteve evidências empíricas sobre a eficiência e eficácia do processo com resultados em mais de 200 empreendimentos.

Entretanto, ao longo desse tempo, o fator crítico de sucesso na implementação de um processo como o proposto esteve relacionado com a organização da empresa, enquanto negócio, e também como organismo vivo composto por pessoas. Assim, em várias fases da evolução desse negócio, foi possível observar que o modelo de organização dos escritórios de projeto, baseados na estrutura de atelier de projetos, pode não ser o mais adequado para a introdução de modelos de gestão baseados na engenharia simultânea e no trabalho colaborativo apoiado por ferramentas da TI. Um dos pontos críticos no processo com o uso do CAD 3D é que não existe “verificação” do projeto no papel. Todo o processo precisa ser documentado em meio eletrônico, para alcançar a eficiência e eficácia que esse tipo de ferramenta propicia. Um processo de trabalho “híbrido”, em que apenas algumas atividades ou lotes de atividades são desenvolvidos com o auxílio da TI, pode acarretar um aumento de tempo e riscos quanto à qualidade da informação gerada no todo.

Um ponto importante que deve ser salientado, dentro dos princípios para a modelagem em CAD 3D, diz respeito ao fato de que raramente é uma atividade

desenvolvida isoladamente por uma pessoa e para uma única pessoa. Nesse sentido, destaca-se também o potencial que a tecnologia da informação tem de reutilizar e resguardar a informação ao longo do tempo.

O modelo proposto baseia-se na possibilidade do trabalho em pequenos lotes e de forma paralela. Esta é a principal razão para a separação e classificação das partes e o seu relacionamento com o todo. O recurso de referências dinâmicas permite que um profissional ou um grupo de profissionais modelem partes do edifício paralelamente aos demais, de forma integrada. Desta forma, é possível “descer” na análise do detalhe e “subir” na visualização do todo. O desdobramento da proposta envolve a incorporação de diversos princípios da engenharia simultânea.

Outro aspecto que é importante salientar é a necessidade da TI fazer parte dos processos de desenvolvimento de projetos de forma estratégica. No caso de se utilizar um CAD 3D genérico, como o AutoCAD® ou o Microstation®, muitas vezes é aconselhável que sejam implementadas customizações ou mesmo ferramentas automáticas, para executar tarefas repetitivas. Em geral os pacotes CAD possuem recursos para esse tipo de intervenção.

Uma alternativa é investir em ferramentas com a filosofia de parametrização e ou do BIM, que podem ser exemplificados pelo Architectural Desktop® e pelo Revit®, respectivamente. Estas ferramentas são mais modernas e já incorporam muito do que se descreveu neste método, porém são mais robustas e podem dar um suporte mais integrado aos processos específicos da construção de edifícios. Estas ferramentas também possuem recursos de customização para padrões específicos de cada projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atuais processos de projeto que se utilizam de CAD 2D reproduzem de modo muito semelhante os processos de representação bidimensional no papel. Nesse sentido, os resultados deste trabalho também apresentam as peculiaridades da representação bidimensional e que constituem limitações ao processo de projeto. Algumas dessas limitações podem ser parcialmente superadas com a implementação de processos automáticos no CAD 2D.

Pelo modelo de Lockhart e Johnson (2000), é possível compreender que a representação 2D seria o último estágio de desenvolvimento do projeto, com a representação sintética e consolidada da solução do problema de projeto. Entretanto, o que seria o fim de um processo é utilizado convencionalmente como meio para a identificação do problema, sua análise e solução.

Ao confrontar esse modelo conceitual, que traduz o que idealmente se espera ao se desenvolver projetos, com as características típicas identificadas no processo baseado no método 2D de representação, percebe-se que este impõe limitações à análise dos problemas espaciais. A representação em 2D deveria ser a síntese resultante do processo de projeto (documentação) e não a única ferramenta de análise geométrica. Assim, a utilização da representação 2D como processo exclusivo de projeto pode se traduzir em soluções errôneas ou enganosas, pela falta de informação, decorrentes da omissão, da simplificação, do uso de simbolismo, pela ambigüidade ou, ainda, pela combinação de vários fatores que geram uma visão parcial do espaço projetado.

Considerando esses aspectos, a representação tridimensional usada durante o processo de desenvolvimento de projeto pode representar mais completamente a informação espacial, reduzindo abstrações, especialmente na etapa de análise. É interessante observar que a análise é a atividade que está entre a identificação do problema e a documentação final da solução. Esse aspecto torna-se mais importante quando há a necessidade de envolvimento de muitos profissionais e especialidades, que observam o mesmo objeto sob óticas diferentes. Assim, o método de projeto em 3D é mais coerente com o modelo de Lockhart e Johnson (2000), na medida em que

a documentação (em 2D) é realizada somente ao final do processo, e que, em geral, é realizada de forma semi-automática ou totalmente automática pelos produtos de CAD do mercado.

Esta pesquisa apresentou um resultado estimulante para a utilização efetiva do CAD 3D para o projeto de vedações e compatibilização, com a identificação de vantagens significativas em termos de redução de tempo de projeto e de ganhos de qualidade, no que se refere à visualização de interferências espaciais. Mais ainda, as entrevistas com projetistas profissionais evidenciaram que a adoção de ferramentas 3D em fases anteriores à compatibilização pode prevenir a geração de inúmeros enganos e interferências, devidos às limitações da representação bidimensional, atualmente corrente no mercado. Outro fato, dentre os resultados obtidos, foi a economia de tempo de profissionais caros no processo de desenvolvimento de projeto, locados nas atividades de coordenação e gestão, através da identificação muito mais rápida e eficaz das soluções espaciais.

Por fim, este trabalho apresentou uma proposta de processo de projeto para vedações que possibilita o uso do CAD 3D. Dentre os diversos procedimentos identificados, destacaram-se a adoção de um modelo único espacial e a necessidade de identificação de uma hierarquia de informações baseadas em objetos relacionados à realidade construtiva. Esse trabalho incluiu a apresentação de um sistema de hierarquia baseada na divisão do edifício em sistemas, subsistemas, componentes e elementos, que sustentam do relacionamento espacial e técnico.

Como conclusão final, a pesquisa proporcionou evidências, tais como redução de tempo e melhoria da qualidade de projeto, para que haja investimentos em uma mudança cultural na base da gestão do processo de desenvolvimento de projetos na construção de edifícios. Estes aspectos abrem também uma nova perspectiva da tecnologia da informação como elemento estratégico nos negócios de construção de edifícios.

5.1. Contribuições do trabalho

Esse trabalho trouxe algumas contribuições, a saber:

- Melhor entendimento das ferramentas de representação gráfica, especialmente no que diz respeito ao CAD, no estrito sentido de auxílio ao projeto e ao desenho;
- Evidências qualitativas e, em parte, também quantitativas do potencial de melhoria em eficiência e eficácia do CAD 3D em desenvolvimento de projetos;
- Proposta de um método baseado em CAD 3D para o projeto de produção de vedações verticais e compatibilização, incluindo um sistema hierárquico de classificação da informação que transforma a geometria em objetos de construção do edifício;
- E, por fim, a apresentação de resultados positivos na avaliação de uma mudança de paradigma em relação à implementação de tecnologia da informação aplicada ao desenvolvimento de projetos na construção de edifícios, substituindo o CAD 2D pelo 3D.

5.2. Pesquisas futuras

Em termos de pesquisas futuras, esta pesquisa abre campo para vários assuntos, desde pesquisas relacionadas à representação gráfica do projeto até questões relacionadas à gestão do processo de projeto com o apoio de novas tecnologias da informação. Uma das pesquisas aqui iniciada que pode ser aprofundada é a realização de um estudo mais aprofundado para comprovar as limitações da representação 2D.

Uma das questões surgidas durante a pesquisa foi em relação ao tipo de organização empresarial e de recursos humanos necessários à aplicação dos modelos propostos. A atual organização dos profissionais em torno da representação final do projeto pressupõe os trabalhos orientados em função do

desenhista. Este profissional representa graficamente o modelo mental 3D para a comunicação com os demais envolvidos: projetistas, coordenadores e demais projetistas externos. Em geral, essa representação é comunicada através de documentos impressos e corresponde apenas a uma parte do espaço projetado. No processo com modelos CAD 3D, a comunicação entre os envolvidos dá-se através da análise direta sobre os modelos eletrônicos. Isto pressupõe, de imediato, uma mudança cultural e da forma de trabalho tradicional.

Por fim, outras necessidades que também passam a ser importantes no uso do CAD 3D estão relacionadas a aspectos do ciclo de vida do produto, adotando-se os conceitos do BIM. Nesse sentido, há um vasto campo de pesquisa, em termos de interoperabilidade e de desenvolvimento dos objetos específicos da construção de edifícios. Estas questões também apontam oportunidades de pesquisas relacionadas à ontologia e sistemas de informação para colaboração à distância, com o uso da web e de equipamentos portáteis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13531**: Elaboração de Projetos de Edificações - Atividades Técnicas. Brasil: ABNT, 1995. 10p.

FORMOSO, Carlos (coord.). Plano estratégico para ciência, tecnologia e inovação na área de tecnologia do ambiente construído com ênfase na construção habitacional. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002. 54p.

AUTODESK. **Parametric Building Modeling: BIM's Foundation**. 2005. Disponível em: **Erro! A referência de hiperlink não é válida.**Revit_BIM_Parametric_Building_Modeling_Jun05.pdf. Acesso em 27 set.2005.

_____. **AutoCAD release 13**: manual do usuário. USA: Autodesk, Inc., 1995. 704 p.

BAILEY, M. et al. Will Brazil seize its future? **The Mckinsey Quarterly**. Washington: Mckinsey Global Institute, n.3, p. 74-91, 1998.

BERNARDES, R. **Redes de inovação e cadeias produtivas globais**: impactos da estratégia de competição da EMBRAER no arranjo aeronáutico da região de São José dos Campos. Rio de Janeiro: Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. 52p. (Relatório Final, Contrato BNDES/FINEP/FUJB: Arranjos e Sistemas Produtivos Locais e as Novas Políticas de Desenvolvimento Industrial e Tecnológico).

BJÖRK, B.-C. **Requirements and information structures for building product data models**. 1995. 88p. Tese (Doutorado) - Building Technology, Espoo, Finlândia, 2003. Disponível em: <http://lib.hut.fi/Diss/199X/isbn9513860302/isbn9513860302.pdf>. Acesso em: 29 dez.2004.

CHAAAYA, M.; JAAFARI, A. Cognizance of visual design management in life-cycle project management. **Journal of Management in Engineering**. v. 17, n. 1, p. 49-57, 2001.

CODINHOTO, R.; FERREIRA, R. C.. Elaboração do projeto de vedações integrada ao processo de compatibilização: levantamento quantitativo dos benefícios obtidos. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4., Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004. 1 CD-ROM.

COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR CONSTRUCTION INNOVATION. **Adopting BIM for facilities management**. Sidney, Australia: Cooperative Research Centre for Construction Innovation, 2007, 32p. Disponível em: http://www.construction-innovation.info/images/CRC_Dig_Model_Book_20070402_v2.pdf. Acesso em 26 abr. 2007.

DUEÑAS PEÑA, M. **Método para a elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria**. 2003, 160p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

EASTMAN, C.; SACKS, R. LEE; G. Strategies for realizing the benefits of 3D integrated modeling of buildings for the AEC industry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 19., Maryland. **Proceedings**. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology, 2002. p.9-14.

EGÉA, A. M. **Relatório individual de pesquisa**: Projeto Integrado para Produção de Edifícios. São Paulo: DWG Arquitetura e Sistemas, 2004. 93p. (Relatório técnico, bolsa de treinamento técnico, processo 04/02997-3, Programa de Inovação Tecnológica para Pequenas Empresas, FAPESP, projeto 01/13304-0).

EL-MASHALEH, M. S., O'BRIEN, W. An empirical study relating construction firm performance and IT utilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 10., Weimer, Germany. Weimar, Germany: Bauhaus-Universität Weimar, 2004. p.142-154. Disponível em: http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2004/179/pdf/icccbe-x_113.pdf. Acesso em: 15 jan.2005.

FERREIRA, R. C.; CODINHOTO, R. **Relatório Técnico**: Projeto Integrado para Produção de Edifícios. São Paulo, SP: DWG Arquitetura e Sistemas, 2004, 75p.

(Relatório científico, Programa de Inovação Tecnológica para Pequenas Empresas, FAPESP, processo 13.304-0,).

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. Comparação do tempo de desenvolvimento do projeto de vedações e compatibilização em sistemas CAD 2D e CAD 3D. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 4., 2004, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004, 10p. 1 CD-ROM.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T.; CODINHOTO, R. Comparação entre os resultados de percepção de problemas relacionados à compatibilização geométrica em projetos para produção de vedações, usando CAD 2D e CAD 3D. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 2005, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005, 10p. 1 CD-ROM.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Construbusiness 2005**: uma década construindo soluções. In: SEMINÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO, 6., 2005. São Paulo: FIESP, 2005. 83p.

FMI CORPORATION. **FMI/CMAA Sixty Annual Survey of Owners**. FMI, [2005?]. 24p. Disponível em: <http://www.fminet.com/global/Articles/SixthAnnualOwnersSurvey.pdf>. Acesso em 23 ago.2006.

GANAH, A. A.; BOUCHLAGHEM, N. B.; ANUMBA, C. J. VISCON. Computer visualisation support for constructability. **Journal of Information Technology in Construction**: Special Issue From 3D to nD Modelling. v. 10, n. 7, 2005, p. 69-83.

GAO, J. et al. Experiences with 3D and 4D CAD on building construction projects: benefits for project success and controllable implementation factors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION. 22., 19-21 de junho, 2005, Dresden, Germany. **Proceedings..** Dresden, Germany: The Westin Bellevue, 10p. Disponível em: <http://itc.scix.net/cgi-bin/works/Show?w78-2005-d3-1-gao>. Acesso em 15 jun.2006

GRAU, K.; WITTCHEN, K. B.; SORENSEN, C. G. Visualisation of building models. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE EINDHOVEN, 8., Netherlands.

Proceedings. Netherlands: Technische Universiteit Eindhoven, 2003. p. 415-420. Disponível em http://www.ibpsa.org/PDFs/BS03%20Papers/BS03_0415_420.pdf. Acesso em 30 dez.2004.

KIM, J.; WILEMON, D. Sources and Assessment of Complexity in NPD Projects. **R&D Management.** v. 33, n. 1, p. 16-30, jan.2003.

LAUDEUR, E.; BOCQUET, J.-C.; AUZET, C. Using systems engineering to enhance concurrent engineering environment through modelling problematic. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CONCURRENT ENTERPRISING, 9., Espoo, Finland. **Proceedings.** Espoo, Finland: Nottingham, jun.2003.

LEE, A. et al. **Developing a vision of nD-enabled construction.** Salford: University of Salford, 2003. 112p.

LOCKHART, S. D.; JOHNSON, C. M. Engineering design communication: conveying design through graphics. USA: Prentice-Hall, 2000. 719p.

MAFALDA, R. Efeitos do uso de diferentes métodos de representação gráfica no desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. 2000. 117p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MELHADO, S. B. **Qualidade no projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994. 294p. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Pauo, 1994.

MELHADO, S. B. e AGOPYAN, V. O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP São Paulo.** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1995. 22p.

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **Journal of Information Technology in Construction: Special Issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality**, v. 11, p. 395-408, 2006.

PICORAL, R. Método de gerência de documento, uma contribuição na atividade de coordenação de projetos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9. **Anais**. Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002, p. 1499-1512.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pennsylvania, USA: PMI, 2000.

RISCHMOLLER, L. et al. Impact of computer advanced visualization tools in AEC industry. In: CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY 2000, TAKING THE CONSTRUCTION INDUSTRY INTO THE 21st CENTURY. **Anais**. Reykjavik, Iceland: CIB, 2000. p. 753-764.

RODRÍGUEZ, M. A. A. **Coordenação técnica de projetos: caracterização e subsídios para sua aplicação na gestão do processo de projeto de edificações**. 2005, 172p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ROWLINSON, S.; HADIKUSUMO, B. H. Virtually real construction components and processes for design-for-safety-process (DFSP). In: CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY 2000 TAKING THE CONSTRUCTION INDUSTRY INTO THE 21st CENTURY. **Anais**. Reykjavik, Iceland: CIB, 2000. p. 780-788.

RUTKAUSKAS, M. G. ; SANTOS, E. T. Guidelines for Optimization of the Geometric Modeling of Automotive Body Parts. In: 12th International Conference on Geometry and Graphics, 2006, Salvador - BA. **Proceedings**. São Paulo: EPUSP, 2006. v. 1. p. 1-14

SACKS, R. Evaluation of economic impact of three-dimensional modeling in precast concrete engineering. **Journal of Computing in Civil Engineering**. v. 18, n. 4, p. 301-312, 2004.

SANTOS, E. T. **Avaliação do algoritmo de "ray tracing" em multicomputadores**. 1994. 181p. São Paulo: Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SCHEER, S. et al. The scenario and trends in the Brazilian IT construction applications' experience. Editorial on construction information technology in emerging

economies. **Journal of Information Technology in Construction**. v. 12, p. 193-206, 2007. Disponível em: <http://www.itcon.org/2007/13>. Acesso em 07 abr.2007.

SHIH, N.-J. A study of 2D- and 3D-oriented architectural drawing production methods. **Automation in Construction**. Elsevier. v. 5, n. 4, p. 273-283, 1996.

SILVA, M. A. C. S.; SOUZA, R. **Gestão do processo de projeto de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa. 2003. 181p.

SILVA, M. M. de A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. 167p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TEICHOLZ, P. **Labor productivity declines in the construction industry: causes and remedies**. AECBytes, 2004. Disponível em: www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue_4.html. Acesso em 23 ago.2006.

THOMAS, S. R.; MACKEN, C. L.; LEE, S.-H. **Impacts of design/information technology on building and industrial projects**. Austin, USA: U.S. Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 2001. 51p.

TZORTZOPOULOS, P. Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte. 1999. 163p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Politécnica. **PCC2122: representação gráfica para engenharia**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006. 84p. (Apostila de curso)

YEOMANS, S. G., BOUCHLAGHEM, N. M., e EL-HAMALAWI A. An evaluation of current collaborative prototyping practices within the AEC industry. **Automation in Construction**. Elsevier. v. 15, p. 139-149, 2006.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.

Anexo 1. Planilha detalhada de levantamento de atividades do Escritório 2D

RESP	SERVIÇO	DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ETAPA		ATIVIDADE
Proj. 1	Conferência	21/06/04	8:20	9:14	0:54	Executivo	Saída de informação	Criação do arquivo base de estrutura ao padrão arco
Proj.1	Conferência	21/06/04	9:20	12:20	3:00	Executivo	Transcrição	Reaproveitamento da planta de arquitetura
Proj.1	Conferência	22/06/04	9:16	10:12	0:56	Executivo	Transcrição	Reaproveitamento da planta de arquitetura
Proj.1	Conferência	22/06/04	10:25	12:20	1:55	Executivo	Transcrição	Reaproveitamento da planta de arquitetura
Proj.1	Conferência	23/06/04	8:19	9:30	1:11	Executivo	Análise	Cotagem (sic) do projeto
Proj.1	Conferência	23/06/04	9:54	11:10	1:16	Executivo	Análise	Cotagem (sic) do projeto
Proj.1	Conferência	23/06/04	11:10	12:26	1:16	Executivo	Análise	Criação do estudo de modulação vertical e de altura de peitoril e locação dos cortes correspondentes aos estudos
EST.1	Furação de hidráulica	23/06/04	10:00	12:00	2:00	Executivo	Compatibilização	-Locação dos furos para hidráulica.
Proj.1	Conferência	24/06/04	8:23	11:25	3:02	Executivo	Análise	Criação do estudo de modulação vertical e de altura de peitoril e locação dos cortes correspondentes aos estudos
EST.1	Furação de Hidráulica	24/06/04	13:30	16:00	2:30	Executivo	Compatibilização	-Locação dos furos para hidráulica.
EST.1	Planta de Modulação	24/06/04	9:15	12:30	3:15	Executivo	Modelagem 2D	-Modulação de 1° e 2° fiadas
EST.1	Planta de Modulação	24/06/04	13:30	15:30	2:00	Executivo	Modelagem 2D	-Modulação de 1° e 2° fiadas
EST.1	Planta de Modulação	25/06/04	9:00	12:10	3:10	Executivo	Modelagem 2D	-Modulação de 1° e 2° fiadas
EST.1	Planta de Modulação	25/06/04	13:30	15:15	1:45	Executivo	Modelagem 2D	-Modulação de 1° e 2° fiadas
PROJ.2	Verificação	27/06/04	16:00	17:00	1:00	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Conferência
Proj.1	Conferência	28/06/04	8:23	8:44	0:21	Executivo	Conferência interna	Correção da planta de conferência
Proj.1	Conferência	28/06/04	9:10	11:50	2:40	Executivo	Conferência interna	Correção da planta de conferência
EST.1	Planta de Modulação	28/06/04	9:15	11:05	1:50	Executivo	Modelagem 2D	-Modulação de 1° e 2° fiadas e locação de telas metálicas
EST.1	Planta de Furação de Elétrica	28/06/04	13:40	15:40	2:00	Executivo	Compatibilização	Locação dos furos de passagem de elétrica
Proj.1	Elevações	29/06/04	8:20	10:13	1:53	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	29/06/04	10:13	12:20	2:07	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
EST.1	Planta de Furação de Elétrica	29/06/04	8:40	13:40	5:00	Executivo	Compatibilização	Locação dos furos de passagem de elétrica
PROJ.2	Verificação	30/06/04	12:00	14:25	2:25	Executivo	Compatibilização	Verificação dos projetos externos e desenvolvimento do relatório de

RESP	SERVIÇO	DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ETAPA		ATIVIDADE
								compatibilização
PROJ.2	Verificação	30/06/04	15:00	15:50	0:50	Executivo	Compatibilização	Verificação dos projetos externos e desenvolvimento do relatório de compatibilização
PROJ.2	Verificação	30/06/04	16:10	17:50	1:40	Executivo	Compatibilização	Verificação dos projetos externos e desenvolvimento do relatório de compatibilização
Proj.1	Elevações	30/06/04	8:20	10:28	2:08	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	30/06/04	10:58	12:31	1:33	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
EST.1	Planta De Furação De Elétrica	30/06/04	9:15	11:15	2:00	Executivo	Compatibilização	-Passagem de eletrodutos
EST.1	Elevações	30/06/04	11:30	13:00	1:30	Executivo	Modelagem 2D	Elevações de alvenaria
EST.1	Elevações	30/06/04	14:10	15:10	1:00	Executivo	Modelagem 2D	Elevações de alvenaria
PROJ.2	Verificação	01/07/04	9:00	10:00	1:00	Executivo	Compatibilização	Atualização da locação das esquadrias conforme CF01 (Pré-Executivo)
COO	Verificação	01/07/04	10:00	10:30	0:30 ⁷	Executivo	Gerência de projeto	Verificação do relatório de compatibilização
PROJ.2	Atualização	01/07/04	10:30	12:00	1:30	Executivo	Conferência interna	Alteração do relatório de compatibilização conforme comentários da coordenação
PROJ.2	Atualização	01/07/04	13:30	15:30	2:00	Executivo	Conferência interna	Alteração do relatório de compatibilização conforme comentários da coordenação
Proj.1	Elevações	01/07/04	8:09	10:41	2:32	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	01/07/04	11:05	12:24	1:19	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
COO	Reunião	02/07/04	9:00	13:00	4:00	Executivo	Gerência de projeto	Reunião com a equipe para fechamento do projeto executivo
Proj.1	Elevações	02/07/04	8:15	10:10	1:55	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	02/07/04	10:30	12:19	1:49	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	05/07/04	8:08	10:15	2:07	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	05/07/04	10:30	11:40	1:10	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
PROJ.2	Verificação	06/07/04	11:30	13:20	1:50	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Conferência após correção. Correção da planta
PROJ.2	Verificação	06/07/04	14:40	16:00	1:20	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Conferência após correção. Correção da planta
PROJ.2	Verificação	06/07/04	16:30	17:50	1:20	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Conferência após

⁷ As atividades que envolveram a coordenação interna não foram computadas na análise de tempo de desenvolvimento de projetos.

RESP	SERVIÇO	DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ETAPA		ATIVIDADE
								correção. Correção da planta
Proj.1	Elevações	06/07/04	8:10	10:23	2:13	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	06/07/04	10:45	12:00	1:15	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento da alvenaria nas elevações
Proj.1	Marcação	06/07/04	12:00	12:18	0:18	Executivo	Saída de informação	Cotagem (sic) do projeto
Proj.1	Marcação	07/07/04	8:13	10:04	1:51	Executivo	Saída de informação	Cotagem (sic) do projeto
Proj.1	Marcação	13/07/04	9:35	10:20	0:45	Executivo	Saída de informação	Fechamento da folha
Proj.1	Marcação	13/07/04	10:30	12:21	1:51	Executivo	Saída de informação	Fechamento da folha
PROJ.2	Verificação	14/07/04	15:20	17:50	2:30	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Modulação 1ª e 2ª Fiadas e as amarrações. Alterando modulação. Verificação das elevações (alvenaria)
Proj.1	Furação 01	14/07/04	9:37	10:17	0:40	Executivo	Saída de informação	Cotagem (sic) do projeto
Proj.1	Furação 01	14/07/04	10:33	10:50	0:17	Executivo	Saída de informação	Cotagem (sic) do projeto
Proj.1	Elevações	14/07/04	11:36	12:22	0:46	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de elétrica nas elevações
PROJ.2	Verificação	15/07/04	8:30	11:50	3:20	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Modulação 1ª e 2ª Fiadas e alteração das amarrações. Verificação das elevações (alvenaria)
Proj.1	Elevações	15/07/04	8:09	8:22	0:13	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de elétrica nas elevações
PROJ.2	Verificação	16/07/04	8:30	12:00	3:30	Executivo	Conferência interna	Verificação da planta de Modulação 1ª e 2ª Fiadas e alteração das amarrações. Verificação das elevações (alvenaria)
PROJ.2	Verificação	19/07/04	17:20	18:00	0:40	Executivo	Compatibilização	Verificação da estrutura nas elevações.
Proj.1	Elevações	19/07/04	11:23	12:23	1:00	Executivo	Conferência interna	Correção da numeração das paredes nas elevações
Proj.1	Elevações	20/07/04	8:09	9:38	1:29	Executivo	Conferência interna	Correção da numeração das paredes nas elevações
Proj.1	Elevações	20/07/04	9:43	9:55	0:12	Executivo	Conferência interna	Correção de modulação e estrutura das elevações
Proj.1	Elevações	20/07/04	10:26	12:26	2:00	Executivo	Conferência interna	Correção de modulação e estrutura das elevações
PROJ.2	Verificação	21/07/04	15:00	16:00	1:00	Executivo	Compatibilização	Verificação e correção da Furação de Elétrica
PROJ.2	Desenvolv.	21/07/04	15:50	16:30	0:40	Executivo	Compatibilização	Verificar nova versão de arquitetura. Atualizar planta de conferência.
PROJ.2	Desenvolv.	21/07/04	16:30	17:00	0:30	Executivo	Análise	Atualizar modulação.
Proj.1	Elevações	21/07/04	8:20	10:17	1:57	Executivo	Conferência interna	Correção de modulação e estrutura das elevações
Proj.1	Elevações	21/07/04	10:29	12:27	1:58	Executivo	Conferência interna	Correção de modulação e estrutura das elevações
PROJ.2	Verificação	22/07/04	9:30	10:05	0:35	Executivo	Compatibilização	Verificação e atualização da furação de hidráulica.

RESP	SERVIÇO	DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ETAPA		ATIVIDADE
PROJ.2	Verificação	22/07/04	10:30	12:00	1:30	Executivo	Compatibilização	Verificação e atualização da furação de hidráulica.
PROJ.2	Verificação	22/07/04	13:30	15:00	1:30	Executivo	Compatibilização	Verificação e atualização da furação de hidráulica.
Proj.1	Elevações	22/07/04	8:16	10:17	2:01	Executivo	Conferência interna	Correção de modulação e estrutura das elevações
Proj.1	Elevações	22/07/04	10:31	12:32	2:01	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de elétrica nas elevações
Proj.1	Elevações	22/07/04	13:41	15:38	1:57	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de elétrica nas elevações
Proj.1	Elevações	22/07/04	15:57	17:50	1:53	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de elétrica nas elevações
PROJ.2	Verificação	23/07/04	8:20	10:00	1:40	Executivo	Conferência interna	Verificando elevações corrigidas (estrutura, alv.). Verificando os outros itens (exceto Inst.)
PROJ.2	Verificação	23/07/04	13:30	14:00	0:30	Executivo	Conferência interna	Verificando elevações corrigidas (estrutura, alv.). Verificando os outros itens (exceto Inst.)
PROJ.2	Verificação	26/07/04	8:25	9:00	0:35	Executivo	Conferência interna	Verificando elevações corrigidas (estrutura, alv.). Verificando os outros itens (exceto Inst.)
PROJ.2	Desenvolv.	26/07/04	11:40	12:20	0:40	Executivo	Saída de informação	Finalizar planta de Furação Hidráulica (Espelhar e layout da folha)
PROJ.2	Desenvolv.	26/07/04	15:00	17:10	2:10	Executivo	Saída de informação	Finalizar planta de Furação Hidráulica (Espelhar e layout da folha)
Proj.1	Elevações	26/07/04	8:18	10:17	1:59	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de elétrica nas elevações
Proj.1	Elevações	26/07/04	11:03	12:23	1:20	Executivo	Conferência interna	Correção dos vãos de alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	27/07/04	8:16	10:16	2:00	Executivo	Conferência interna	Correção dos vãos de alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	27/07/04	10:46	12:25	1:39	Executivo	Conferência interna	Correção dos vãos de alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	28/07/04	8:10	10:17	2:07	Executivo	Conferência interna	Correção dos vãos de alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	28/07/04	10:33	12:20	1:47	Executivo	Conferência interna	Correção dos vãos de alvenaria nas elevações
Proj.1	Elevações	29/07/04	8:12	8:39	0:27	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	29/07/04	8:39	9:00	0:21	Executivo	Conferência interna	Revisão dos furos em viga na planta de furação de hidráulica
Proj.1	Elevações	29/07/04	9:00	10:13	1:13	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	29/07/04	10:28	11:00	0:32	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	30/07/04	8:09	8:56	0:47	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	30/07/04	9:17	10:47	1:30	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	30/07/04	11:03	14:00	2:57	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	02/08/04	9:40	10:37	0:57	Executivo	Compatibilização	Desenvolvimento de hidráulica nas elevações

RESP	SERVIÇO	DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ETAPA		ATIVIDADE
Proj.1	Elevações	02/08/04	11:03	14:00	2:57	Executivo	Saída de informação	Inseridas as elevações nas margens
Proj.1	Elevações	03/08/04	8:08	9:34	1:26	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
Proj.1	Elevações	03/08/04	10:53	12:25	1:32	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
PROJ.2	Verificação	04/08/04	11:00	12:00	1:00	Executivo	Conferência interna	Verificando e corrigindo elevações corrigidas (instalações)
PROJ.2	Verificação	04/08/04	13:00	16:20	3:20	Executivo	Conferência interna	Verificando e corrigindo elevações corrigidas (instalações)
Proj.1	Elevações	04/08/04	8:00	10:17	2:17	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
Proj.1	Elevações	04/08/04	10:32	12:28	1:56	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
PROJ.2	Verificação	05/08/04	8:00	10:30	2:30	Executivo	Conferência interna	Verificando e corrigindo elevações corrigidas (instalações)
PROJ.2	Verificação	05/08/04	11:00	12:00	1:00	Executivo	Saída de informação	Finalizar planta de Furação Elétrica
PROJ.2	Verificação	05/08/04	13:10	14:00	0:50	Executivo	Saída de informação	Finalizar planta de Furação Elétrica
PROJ.2	Verificação	05/08/04	14:00	16:30	2:30	Executivo	Conferência interna	Verificar detalhes desenvolvidos
Proj.1	Elevações	05/08/04	8:09	8:30	0:21	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
Proj.1	Elevações	05/08/04	8:40	10:23	1:43	Executivo	Conferência interna	Correção elétrica e hidráulica nas elevações
Proj.1	Elevações	05/08/04	10:50	12:23	1:33	Executivo	Conferência interna	Correção das indicações de detalhes nas elevações
PROJ.2	Verificação	06/08/04	8:00	8:50	0:50	Executivo	Especificação	Incluir blocos rebaixados (<espessura) na planta de modulação
PROJ.2	Verificação	06/08/04	8:50	9:00	0:10	Executivo	Saída de informação	Fazer plts das plantas e enviar para Diálogo
Proj.1	Elevações	06/08/04	8:03	10:17	2:14	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
Proj.1	Elevações	06/08/04	10:35	11:20	0:45	Executivo	Saída de informação	Desenvolvimento do caderno de detalhes
Proj.1	Elevações	06/08/04	11:20	12:25	1:05	Executivo	Saída de informação	Quantificação de blocos
Proj.1	Elevações	09/08/04	8:17	10:42	2:25	Executivo	Saída de informação	Quantificação de blocos
Proj.1	Elevações	09/08/04	11:03	11:03	0:00	Executivo	Saída de informação	Quantificação de blocos

LEGENDA:

Proj. – Projetista

COO – Coordenador

EST - Estrutura

Anexo 2. Planilha detalhada de levantamento de atividades do Escritório 3D⁸

DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ATIVIDADES		ATIVIDADE
28/06/04	16:45	17:00	00:15	Triagem	Transcrição	Triagem MAL04325
28/06/04	17:25	17:45	00:20	Cadastro técnico	Entrada de informação	Preenchimento do Cadastro Técnico
28/06/04	17:55	18:20	00:25	Ajuste	Transcrição	Ajuste - 4 arquivos
28/06/04	18:20	18:50	00:30	Desmembramento	Transcrição	Desmembramentos - 7 arquivos
29/06/04	13:30	13:45	00:15	Desmembramento	Transcrição	Desmembramentos - 7 arquivos
29/06/04	13:45	14:50	01:05	Modulação Vertical	Análise	Modulação Vertical para Alvenaria de Blocos
29/06/04	14:50	15:20	00:30	Compatibilização	Análise	Compatibilização Arquitetura x Estrutura
29/06/04	15:20	15:45	00:25	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem da folha 347VDep201r00
30/06/04	09:00	10:00	01:00	Modulação Vertical	Análise	Sugestões para Modulação Vertical
30/06/04	11:00	11:40	00:40	Triagem	Transcrição	Triagem MAL04326
30/06/04	11:40	11:55	00:15	Triagem	Transcrição	Triagem MAL04327
30/06/04	11:55	12:55	01:00	Ajuste	Transcrição	Ajustes - 7 arquivos - Obs.: FATAL ERROR no ajuste do corte. Foi necessário entrar com recover
1/07/04	08:00	09:10	01:10	Desmembramento	Transcrição	Desmembramentos - 16 arquivos
1/07/04	09:20	09:30	00:10	Níveis	Modelagem	Esquema de níveis - NIVpb001
1/07/04	09:30	11:15	01:45	3D	Modelagem	3D da Estrutura
1/07/04	11:15	11:45	00:30	Modulação Vertical	Conferência interna	Revisão da Modulação Vertical
1/07/04	12:50	14:35	01:45	3D	Modelagem	3D da alvenaria (incluindo rotina EST)
1/07/04	14:35	15:00	00:25	Criação das paredes	Modelagem	Eixos das Paredes
1/07/04	15:00	15:15	00:15	Criação das paredes	Modelagem	Identificação das Paredes
1/07/04	15:20	16:30	01:10	Criação das paredes	Modelagem	Memorial de paredes
1/07/04	16:40	16:55	00:15	Criação das paredes	Modelagem	Rotina Tijolo
2/07/04	09:00	09:30	00:30	Solicitação de informação	Busca de informação	Solicitação de Informações - SPV04001
2/07/04	10:20	11:55	01:35	3D	Modelagem	3D de elétrica
2/07/04	12:45	17:00	04:15	3D	Modelagem	3D de elétrica
5/07/04	07:55	09:25	01:30	3D	Modelagem	3D de elétrica
5/07/04	09:45	11:35	01:50	3D	Modelagem	3D de elétrica
5/07/04	13:55	14:55	01:00	3D	Modelagem	3D de hidráulica
5/07/04	14:55	15:45	00:50	3D	Modelagem	3D das portas e montagem do arquivo IPO
6/07/04	09:00	10:15	01:15	3D	Modelagem	3D de hidráulica
6/07/04	10:20	12:10	01:50	3D	Modelagem	3D de hidráulica
6/07/04	13:20	13:40	00:20	3D	Modelagem	3D de hidráulica
6/07/04	13:45	15:35	01:50	3D	Modelagem	3D de hidráulica
7/07/04	08:15	10:50	02:35	3D	Modelagem	3D de hidráulica
7/07/04	11:00	12:30	01:30	3D	Modelagem	3D de hidráulica

⁸ O processo de desenvolvimento de projeto no Escritório 3D envolveu apenas um projetista.

DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ATIVIDADES		ATIVIDADE
7/07/04	12:40	13:35	00:55	3D	Modelagem	3D de hidráulica
7/07/04	14:15	16:30	02:15	3D	Modelagem	3D de hidráulica
8/07/04	07:55	11:50	03:55	3D	Modelagem	3D de hidráulica
8/07/04	12:40	15:00	02:20	3D	Modelagem	3D de hidráulica
12/07/04	07:55	08:10	00:15	Cadastro técnico	Entrada de informação	Preenchimento do Cadastro Técnico
12/07/04	08:10	08:35	00:25	3D	Modelagem	3D do contrapiso
12/07/04	08:50	08:55	00:05	Criação das paredes	Modelagem	Rotina PAR
12/07/04	08:55	09:45	00:50	Amarração	Compatibilização	Amarração
12/07/04	09:45	10:00	00:15	Amarração	Compatibilização	Amarração - Mudança de máquina
12/07/04	10:15	10:30	00:15	3D	Conferência interna	Revisão dos arquivos de portas e revestimento de piso (3D)
12/07/04	10:30	10:55	00:25	Amarração	Compatibilização	Amarração
12/07/04	10:55	11:40	00:45	3D	Modelagem	3D dos caixilhos e montagem do arquivo ICA
12/07/04	11:40	12:00	00:20	Amarração	Compatibilização	Amarração
12/07/04	12:55	16:00	03:05	Amarração	Compatibilização	Amarração
12/07/04	16:05	17:00	00:55	Amarração	Compatibilização	Amarração
13/07/04	08:00	09:25	01:25	Amarração	Compatibilização	Amarração
13/07/04	09:30	09:40	00:10	3D	Modelagem	3D do forro
13/07/04	09:40	10:40	01:00	Criação das paredes	Modelagem	Criação das paredes espelhos e idênticas
13/07/04	10:40	11:15	00:35	Compatibilização	Compatibilização	Seções da estrutura, piso e forro
13/07/04	11:30	12:30	01:00	Compatibilização	Compatibilização	Seções da estrutura, piso e forro
13/07/04	13:35	14:35	01:00	Compatibilização	Compatibilização	Seções da estrutura, piso e forro
13/07/04	14:35	15:15	00:40	Primeira fiada	Saída de informação	Arquivo PARtp e seção na primeira fiada
13/07/04	15:15	16:45	01:30	Montagem das paredes	Modelagem	Elevação, abertura de vãos, inserção e ajuste das instalações
14/07/04	08:15	11:00	02:45	Montagem das paredes	Modelagem	Elevação, abertura de vãos, inserção e ajuste das instalações
14/07/04	11:00	11:10	00:10	3D	Modelagem	Blocos de pré-moldado e verga
14/07/04	11:10	11:55	00:45	Montagem das paredes	Modelagem	Elevação, abertura de vãos, inserção e ajuste das instalações
14/07/04	12:55	16:20	03:25	Montagem das paredes	Modelagem	Elevação, abertura de vãos, inserção e ajuste das instalações
15/07/04	08:00	11:55	03:55	Montagem das paredes	Modelagem	Elevação, abertura de vãos, inserção e ajuste das instalações
15/07/04	12:45	13:40	00:55	3D	Conferência interna	3D de hidráulica - Complementação - esgota do IPHtp2
15/07/04	13:40	14:40	01:00	Montagem das paredes	Modelagem	Elevação, abertura de vãos, inserção e ajuste das instalações
15/07/04	14:40	14:55	00:15	Modulação Vertical	Análise	Modulação Vertical para Caixilhos e Portas
16/07/04	08:00	08:55	00:55	Montagem das paredes	Conferência interna	Primeira fiada e ajustes nas paredes 50, 103, 105, 121
16/07/04	09:05	10:30	01:25	Montagem das paredes	Modelagem	Elevações de paredes com portas - opções com vergas e bloco canaleta
16/07/04	10:30	11:00	00:30	3D	Modelagem	3D dos blocos pré-moldados e vergas
16/07/04	11:00	11:30	00:30	Montagem das paredes	Modelagem	Elevações de paredes com portas - opções com vergas e bloco canaleta
16/07/04	11:30	12:00	00:30	Compatibilização	Conferência interna	Ajustes finais nas paredes e colocação de notas
16/07/04	12:50	15:00	02:10	Compatibilização	Conferência interna	Ajustes finais nas paredes e colocação de notas

DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ATIVIDADES		ATIVIDADE
19/07/04	07:55	08:25	00:30	Especificação	Especificação	Representação das juntas preenchidas na primeira fiada
19/07/04	12:30	15:20	02:50	Furação	Compatibilização	Marcação de Furações de Instalações - Arquivos FED, FES, ENT e ENP
20/07/04	07:45	08:30	00:45	Furação	Compatibilização	Marcação de Furações de Instalações - FRH
20/07/04	08:35	09:05	00:30	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem da folha de elevação modelo e legenda de blocos
20/07/04	09:10	09:25	00:15	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem da folha de elevação modelo e legenda de blocos
20/07/04	09:25	10:30	01:05	Montagem de folhas	Saída de informação	Elaboração do script para montagem das folhas de elevação
20/07/04	10:40	11:05	00:25	Atividade automática	Saída de informação	Rodando o script em uma máquina/ Acrescentando JP nas paredes em outra
20/07/04	10:40	11:05	00:25	Especificação	Especificação	Rodando o script em uma máquina/ Acrescentando JP nas paredes em outra
20/07/04	11:05	12:05	01:00	Especificação	Especificação	Acrescentando JP nas paredes
20/07/04	12:55	13:45	00:50	Especificação	Especificação	Acrescentando JP nas paredes
20/07/04	13:45	14:05	00:20	Triagem	Transcrição	Triagem
20/07/04	14:05	14:10	00:05	Ajuste	Transcrição	Ajuste
20/07/04	14:10	14:55	00:45	Desmembramento	Transcrição	Desmembramentos
20/07/04	14:55	15:25	00:30	3D	Conferência interna	Revisão nos arquivos em 3D da estrutura
20/07/04	15:25	16:05	00:40	Compatibilização	Conferência interna	Revisão nas seções das paredes
21/07/04	07:55	08:05	00:10	3D	Conferência interna	Revisão do 3D da escada
21/07/04	08:05	08:20	00:15	Compatibilização	Conferência interna	Revisão nas seções das paredes
21/07/04	08:20	08:40	00:20	Primeira fiada	Saída de informação	Primeira fiada
21/07/04	08:40	09:10	00:30	Especificação	Especificação	Acrescentando JP nas paredes com opção canaleta
21/07/04	09:20	09:30	00:10	Erro de software	Conferência interna	Script para salvar arquivos em r14
21/07/04	09:30	09:50	00:20	Atividade automática	Saída de informação	Rodando script
21/07/04	09:50	10:40	00:50	2D	Conferência interna	Seções de alvenaria, portas e vãos, através do PARTp
21/07/04	10:40	11:00	00:20	Níveis	Saída de informação	Esquema de níveis - NIVId001
21/07/04	11:00	11:30	00:30	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem da folha de Marcação de Hidráulica
21/07/04	11:30	11:50	00:20	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem da folhas de Marcação de Elétrica
21/07/04	12:50	13:05	00:15	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem da folha de Primeira Fiada
21/07/04	13:05	14:50	01:45	Montagem das paredes	Conferência interna	Correção dos blocos nas paredes origens
21/07/04	14:50	15:10	00:20	2D	Saída de informação	Primeira fiada
21/07/04	15:10	16:55	01:45	Dados para orçamento	Saída de informação	Quantitativo de blocos
22/07/04	07:50	08:15	00:25	Eixo de obra	Saída de informação	Eixo EIX
22/07/04	08:15	08:30	00:15	Montagem de folhas	Saída de informação	Acrescentando o EIX nas folhas

DATA	INICIO	FIM	TEMPO	ATIVIDADES		ATIVIDADE
22/07/04	08:30	12:00	03:30	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das folhas de elevação - Ajuste de viewports e cotas
22/07/04	12:40	16:45	04:05	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das folhas de elevação - Ajuste de viewports e cotas
23/07/04	07:55	12:05	04:10	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das folhas de elevação - Notas, pendências e conferências
23/07/04	12:50	16:25	03:35	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das folhas de elevação - Notas, pendências e conferências
26/07/04	08:10	09:25	01:15	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das folhas de elevação - Notas, pendências e conferências
26/07/04	09:35	10:55	01:20	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das folhas de elevação - Notas, pendências e conferências
26/07/04	10:55	11:55	01:00	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das Folhas de Marcação - Notas, pendências, conferências e cotas
26/07/04	12:45	15:45	03:00	Montagem de folhas	Saída de informação	Montagem das Folhas de Marcação - Notas, pendências, conferências e cotas
26/07/04	15:45	16:45	01:00	3D	Modelagem	EQFtp
27/07/04	08:00	08:45	00:45	Montagem das paredes	Modelagem	Inserção do EQFtp nas paredes e correção das folhas 96, 97, 131 e 132
27/07/04	08:45	11:00	02:15	Montagem de folhas	Saída de informação	Folhas de Elétrica - cotas
27/07/04	11:00	12:05	01:05	Triagem	Transcrição	Triagem
27/07/04	13:00	13:20	00:20	Triagem	Transcrição	Triagem
27/07/04	13:20	14:30	01:10	Liberação de projeto	Saída de informação	Scripts para consolidação das folhas - xb e plt
27/07/04	14:30	16:00	01:30	Atividade automática	Saída de informação	Rodando as rotinas

Anexo 3. Projetos semelhantes ao do estudo de caso

Figura 64 – Planta do estudo de caso.

Figura 65 – Projeto 1 semelhante ao projeto do estudo de caso.

Figura 66 – Projeto 2 semelhante ao projeto do estudo de caso.

Figura 67 – Projeto 3 semelhante ao projeto do estudo de caso.

Figura 68 – Projeto 4 semelhante ao projeto do estudo de caso.

Figura 69 – Projeto 5 semelhante ao projeto do estudo de caso.

Anexo 4. Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D

Figura 70 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapa 1.

Figura 71 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapa 2

Figura 72 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapa 3

Figura 73 – Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 2D - etapas 4 e 5.

Anexo 5. Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 3D

Figura 74 - Fluxo Geral do Desenvolvimento de Projetos do Escritório 3D – etapas 1 a 6.

Anexo 6. Entrevistas do experimento⁹

Entrevistado	Coordenador 1 (COO.1)
Comentários durante a observação em 2D	1. Gráficamente eu consigo ver que as duas [instalações] estão passando no mesmo lugar. [aí ela fez uma série de contas mentais]
	2. Essa informação gráfica poderia ser vista em 2D, mas é muito mais difícil do que em 3D.
Comentários durante a observação em 3D	1. Na verdade em 3D é uma informação gráfica visual.
	2. Quando você tem em 2D, você tem que fazer as contas.... É uma coisa mais demorada [para analisar].
Comentários em questões abertas	1. Às vezes você precisa abrir mão de representar graficamente uma informação, para representar mais claro em 2D .
	2. A gente sabe implicitamente [2D] que é daquele jeito que tem que fazer. Mas só que graficamente ele não está representado assim [mesmo que seja uma por cima, na obra, representa uma atrás da outra].
	3. Você precisa somar duas informações [planta e elevação].
	4. Isso já tem no 3D [planta e elevação].
	5. Dependendo da escala em que for plotar ele [projetista] pode representar um cotovelo detalhado ou não.
	6. [Pode reduzir interferências o uso do 3D] Com certeza.
	7. Aquelas interferências no forro [da área de serviço], aquilo ali a gente não consegue perceber em planta. Mesmo que o projetista fizesse vários cortes, seria muito complicado perceber. Ele teria que fazer muitos cortes e depois vários cortes de interferências.
	8. Os projetistas que nós temos hoje.... não teriam condições de trabalhar em 3D. A gente ainda tem projetista que desenha na mão e tem o cadista que passa a limpo.
	9. Tem projetista que nem consegue perceber a informação na tela.
	10. Quando é feito a viabilidade do empreendimento.... hoje a gente vive a realidade que a gente não tem toda a verba para projeto necessário.
	11. É óbvio que o trabalho em 3D demanda muito mais tempo e uma mão de obra provavelmente mais qualificada e eu não sei se os escritórios têm, e eu acredito que não têm.
	12. Estou pensando em ele [projetista] projetar em 3D. [risos]
Entrevistado	Coordenador 2 (COO.2)
Comentários durante a observação em 2D	1. Essa linha vermelha é da hidráulica? [Explicou que é a hidráulica]
	2. Essa aqui amarela é do projeto? [explicou novamente]
	3. Esse é esgoto? [explicou novamente]
	4. Durante mais de 2 minutos ficou apenas mexendo no desenho no CAD, sem falar nada
	[5. Eu disse que se ela quisesse alguma ajuda poderia pedir ou perguntar.]
	6. Existe uma vista da hidráulica? [providenciou a vista que tinha disponível e explicou a representação.]
	7. [Na vista] a água fria e água quente está passando pela parede.
	8. E como é que ela chega aqui? [explica novamente.]
	9. Estou achando diferente....Quando ele vem vindo pela parede e depois desce por baixo.
	10. Está meio confuso para mim.
	11. Rita – Precisa de mais vistas?
	12. Sim.
	13. [Não vê interferência.]
Comentários durante a observação em 3D	1. Você vê aqui, estão na mesma altura. (menos de 1 minuto)
	2. Só em planta não dá para ver isso.

⁹ Destacadas em vermelho, estão indicadas as palavras-chave que expressam a relação do profissional com a tecnologia.

Entrevistado	Coordenador 2 (COO.2)
	3. Teria que pedir a elevação
	4. A arquitetura está montando todas as elevações de áreas molhadas e hidráulica está marcando as instalações e elétrica as caixinhas. Na mesma base de arquitetura.
Comentários em questões abertas	1. É claro que aqui no 3D é muito mais rápido .
	2. Mas também tem que fazer a sobreposição.[em 3D]
	3. Nesta daqui [em 3D] é muito mais rápido
	4. Simbolismo.... Não tem todas as informações.... A hidráulica representa com um traço... às vezes tem vários canos passando num lugar só. [comentários sobre o 2D]
	5. [em 2D] Tem que checar as bitolas e o espaço que está sendo proposto. Tem que fazer as contas . O trabalho é isso.
	6. [Ela acha que o mesmo trabalho de sobreposição em 3D seria o mesmo que já se faz em 2D.]
	7. É lógico que se consegue ver um conjunto maior [em 3D]
	8. Você acha que se tivéssemos todas essas informações nos projetos, já não seria possível ver todas as interferências [em 2D]?
	9. Desta forma [em 3D] você consegue ver muito mais rápido e muito mais fácil .
	10. Quando você trabalha em vista , você até conseguiria ver, mas demora um pouco mais .
	11. É muito fácil ver isso... só não consigo imaginar o trabalho de fazer isso em 3D .
	12. Acho que é muito trabalho fazer em 3D. Mas acho que deve ser muito trabalhoso.

Entrevistado	Coordenador 3 (COO.3)
Comentários durante a observação em 2D	1. Esse projeto é muito simples. Em princípio, não é daqueles que a gente passa onde quer e depois vai verificar.
	2. [Utilizou as bases e acha que] A gente deixou de uma forma que não tenha interferência .
	3. Não aqui... mas provavelmente prá cá, quando esse duto começar a interferência com essa tubulação [de hidráulica].
	4. [Não teve certeza das interferências.]
Comentários durante a observação em 3D	1. Este trecho é um trecho nevrálgico.[risos]
	2. Precisa ver se a tubulação de hidráulica vem por baixo ou por cima. Este é um tubo pressurizado.
	3. Gira de novo, para a gente ver desse lado.
	4. [Sorriu com muita satisfação de ver exatamente o modelo, mas não fez maiores comentários].
Comentários em questões abertas	1. [mais fácil perceber a interferência?] Em 3D, com certeza [sorriu].
	2. [a representação em 2D] ela tem limite .
	3. A questão mais é de visualização mesmo.[sobre o 3D]
	4. Quando a gente faz o projeto não em 3D, fazendo contas, você vai contando tem tanto para passar.... etc. etc. É um negócio que se faz mais por cálculo e por deduções .
	5. Aí no 3D você vê como se tivesse fazendo a obra .
	6. [o 3D pode reduzir as interferências espaciais] Sem dúvida .
	7. Você vê várias vistas fixas e aí você monta e imagina... uma coisa é ver outra é imaginar [comparando o 3D com o 2D].
	8. O problema era "visão parcial", não foi possível ver a altura por que não tinha um corte .
	9. Quando você montou isso, você tirou a interferência. Eventualmente, o Jefferson poderia estar passando em outra posição. Até poderia estar acontecendo....
	10. E talvez a simplificação ao fazer as passagens e não observar e não ter visto.... [aponta].
	11. Aquela tubulação que passa na parede, não aparece aqui . Está na elevação. É que esta é uma planta alta. Na planta baixa, ela apareceria.
	12. Tem omissão, porque aí a gente ia ver o corte para ver em que nível estaria esse tubo.
	13. Projetar ou desenhar? Difícil dizer isso para mim, porque eu não desenho .
	14. Quem bola o projeto, quem calcula o projeto... passa para um projetista... a não ser

Entrevistado	Coordenador 3 (COO.3)
	que a gente veja uma arquitetura tridimensional.
	15. Quem vai fazer o desenho, é uma questão de manuseio. Acho que até facilita.
	16. As ferramentas não são fáceis e em termos de conhecimento das pessoas também não. Falta treinamento.
Entrevistado	Coordenador 4 (COO.4)
Comentários durante a observação em 2D	<p>1. [Pegou o mouse]. Na verdade você tem muita informação que acaba dificultando um pouco.</p> <p>2. Na verdade, eu não tenho muita facilidade para analisar no computador. É bom para quem trabalha no computador o tempo todo. Que não é o meu caso. Quem faz isso no escritório é a Iclair.</p> <p>3. O meu trabalho fica mais em termos de concepção de estrutura, analisar estabilidade do prédio, dimensionamento. Analisar furações, incompatibilidades, é um trabalho de projetista. Eu não estou familiarizado.</p> <p>4. [Aproximou-se bastante da tela].</p> <p>5. É difícil a gente ver a interferência da instalação com estrutura nessa plataforma [com todas as informações sobrepostas]. Eu prefiro ver a estrutura limpa.</p> <p>6. Dá para analisar o tamanho da interferência. Você tem a informação do diâmetro da tubulação e a altura.</p> <p>7. A gente vai verificar se a furação [recebida] interfere na estrutura.</p> <p>8. Acontece das furações recebidas de diversos parceiros e elas sobrepõem ou aumentam a furação. Isso acontece quando não há uma coordenação.</p> <p>9. Porque nós colocamos tudo em escala. [observação importante porque é a forma de projetar na prancheta]</p>
Comentários durante a observação em 3D	<p>1. [ele se afastou um pouco, enquanto eu explicava e colocava em ponto de vista do 3D]</p> <p>2. Em 3D para instalações deve ser muito bom... porque você vê os cruzamentos entre instalações. Muitas vezes as instalações estão no mesmo nível.</p> <p>Você consegue visualizar bem toda a situação.</p>
Comentários em questões abertas	<p>1. Para estrutura... em que você tem vários níveis... mesmo para a estrutura o 3D já facilita bastante.</p> <p>2. Quando eu faço a concepção, eu sei mais ou menos os níveis. Ai você tem que passar para o processamento. Muitas vezes em 2D o projetista não tem percepção desses desníveis. Você tem que verificar os cortes...</p> <p>3. [Em 2D] Exige muita atenção, principalmente quando a situação é muito complexa. Nesses casos o 3D ajuda bastante.</p> <p>4. Inclusive, hoje mesmo, teve um projeto que tinha uma laje num nível e outra laje contígua em nível inferior, e a furação foi feita no nível da laje superior. Deveria ter sido feita a furação abaixo da laje mais baixa.</p> <p>5. A representação em 2D é a mesma que no CAD 2D. Concorde totalmente. [ele não mexe com o computador]</p> <p>6. Com o CAD 3D percebe melhor as interferências. Concorde totalmente.</p> <p>7. Não sabe se é mais fácil aprender o CAD 3D. Não vai ser difícil. Eles vão aprender.</p> <p>8. [O CAD é difícil de usar?] Não.</p> <p>9. Se é mais demorado? Deve ser mais demorado.</p> <p>10. Não elimina [cortes, plantas e elevações]</p>
Entrevistado	Projetista 1 (PRJ.1)
Comentários durante a observação em 2D	<p>1. Identificar simplesmente olhando a planta, não.</p> <p>2. Fazendo cálculo...</p> <p>3. A gente faz cálculo de caimento e tenta minimizar isso ao máximo [interferências]... mas você acaba pensando em 3D.</p> <p>4. Apenas olhando a planta e identificar se aqui há interferência ou não.</p> <p>5. [A construção de outros subsistemas] se faz somente onde sabe que vai dar problema. [ou pensa que vai dar]</p>
Comentários durante a observação em 3D	<p>1. Em 3D é muito mais fácil. Depois que está montando é muito mais fácil.</p> <p>[Ele já conhecia o 3D apresentado em reunião na empresa]</p>

Entrevistado	Projetista 1 (PRJ.1)
Comentários em questões abertas	1. O que precisa fazer é mais cortes ... em áreas mais complicados.... se você tiver vários cortes, não importa que seja em 2D .
	2. Se viesse tudo em 3D, veria todas as interferências.
	3. Aí você está com uma maquete eletrônica.
	4. Você está construindo...
	5. É mais simples fazer em 2D, pra gente que trabalha em 2D.
	6. Se a gente conseguisse fazer em 3D do mesmo jeito que em 2D.
	7. A nossa dificuldade é não ter costume [usar o 3D] .
	8. Em 3D, montar um detalhe de esgoto, eu levaria um dia.
	9. Em 2D, levo 15 minutos para um detalhe de esgoto.
	10. Como a gente não tem esse costume... essa habilidade... é muito mais difícil.[3D]
	11. É a mesma coisa projetar no papel e no CAD 2D.
	12. Eu não tenho experiência em prancheta.
	13. A gente sai do 2D. Até o detalhe isométrico é feito em 2D. Se eu rotacionar no espaço, ele distorce. É como se eu tivesse pegando um lápis na tela.
	14. É tudo feito como se eu tivesse desenhando.
	15. Não sabe se o CAD 3D é difícil de aprender. Acho que é difícil por falta de costume.
	16. Acho que se pegar a mão e disser "vamos aprender", aprende.
	17. Hoje o 3D é mais demorado que 2D, por causa das rotinas que a gente desenvolve para 2D.
	18. [A obra deveria usar o CAD 3D] Acho que o CAD na obra não tem necessidade, mas uma representação em 3D ajuda bastante.
	19. Ambigüidade: Eu consigo representar de uma forma, e penso de uma maneira e outra pessoa olhando aquilo vê de uma forma diferente. [A Rita discutiu que seria omissão]
	20. Eu consigo ver em 2D muito fácil. Consigo fazer 5 cortes em 2D muito mais rápido do que em 3D.
	21. Em 3D ficaria muito mais simples, se eu soubesse usar o 3D.
	22. Mas hoje se eu tivesse que pensar em fazer em 3D. Por que eu não tenho esse conhecimento [o 3D].
	23. omissão, ambigüidade e simplificação.
	24. É uma simplificação, na verdade. O 2D é uma simplificação.
	25. Se eu fosse representar tudo, teria que ser em 3D.
	26. Não tenho como mostrar 100% das coisas.
Entrevistado	Projetista 2 (PRJ.2)
Comentários durante a observação em 2D	1. A gente já está fugindo da parte da hidráulica.
	2. A gente procura posicionar sem ter interferência com hidráulica.
	3. Eu não tinha percebido quando posicionei o duto... Quando eu recebi a base de hidráulica.... a gente modificou.
	4. Aqui... eu só vou perceber quando tiver o corte e as alturas.
	5. Nesse lugar específico onde você mostrou não estou percebendo [no lavabo].
	6. O Eduardo me traz as informações da reunião... eu monto ou ele mesmo faz um corte e observa para colocar as instalações.
	7. Outros problemas são sempre os mesmos: pé direito, altura do forro... a gente tem que montar um esboço.
	8. Só assim em planta não é possível saber se tem interferência ou não.
Comentários durante a observação em 3D	1. [Ela perguntava e comentava sobre como eu tinha feito o 3D] Não conheço algo para fazer ar condicionado em 3D.
	2. Bem apertadinho.... [viu a interferência imediatamente]
	3. Agora sim. O duto está passando no meio do meu duto.
	4. O furo está na mesma altura. [está quase]
	5. [A expressão muda com sorrisos]

Entrevistado	Projetista 2 (PRJ.2)
Comentários em questões abertas	1. Foi mais fácil perceber em 3D “é claro” .
	2. Eu preciso montar os cortes e saber a altura de tudo .
	3. A diferença é que montando o projeto direto em 3D eu já vou ter essas informações, durante o projeto mesmo. Não vou perceber depois .
	4. Não sei quanto tempo leva para fazer um arquivo em 3D.
	5. Não sei quanto tempo leva para gerar. Mas se durante o projeto, estou fazendo em 3D, eu já vou percebendo.
	6. Pode reduzir e muito [as interferências espaciais em 3D].
	7. Aqui eu já consigo perceber o que está passando por cima ou por baixo [comentário sobre a omissão da informação].
	8. Simplificação... porque a informação está unifilar (uma simples linha), se eu não observar com cuidado... a gente tenta mostrar aquele eixo do tubo para mostrar por onde ele está passando.
	9. Mas eu não sei o que o outro estava pensando...
	10. Na época da prancheta, nem tinha tudo isso. O cara de hidráulica e a eu tenho que entender para saber se está passando ou se não está passando. Muitas vezes eu tenho mesmo que entender todas as outras instalações, se não eu não consigo saber se o meu projeto está adequado ou não.
	11. Eu tenho que ver e entender o projeto dos outros... Se fosse em 3D seria mais fácil. Mas aí eu também teria que gerar em 3D.
	12. Ou todo mundo faz em 3D ou não faz.

Entrevistado	Projetista 3 (PRJ.3)
Comentários durante a observação em 2D	1. A estrutura basicamente analisa a interferência dos elementos estruturais com as alturas das instalações, onde tem interferência com forro.
	2. A parte consistente dessa análise é só em relação à altura do vigamento. É o que a gente observa,
	3. Não [consegue ver possível interferência em 2D. Foi bastante enfática ao dizer “não”].
	4. [Ela analisa com base na informação recebida dos demais projetistas]
	5. A análise com a planta é bastante complicada.
Comentários durante a observação em 3D	1. Aí dá pra ver claramente.
	2. A análise que a gente faz onde está passando a tubulação em relação à armação positiva e negativa.
Comentários em questões abertas	1. [Sobre o 3D] É uma ferramenta que eu desconhecia. Aliás eu vou procurar conhecer melhor. É muito mais fácil perceber assim.
	2. Aquele detalhe da escada que você mandou, eu vi que eu tinha demorado bastante para explicar para a Paula [arquiteta]
	3. Diminui até o tempo do projeto em geral [em 3D].
	4. Diminui o tempo de análise. [Essa análise é demorada?] É demorada demais.
	5. A gente combina todas as instalações e algumas você nem domina. Você tem que analisar, correndo atrás do projeto de instalação. Isso aí é muito bom... bom mesmo.
	6. A representação em 2D é diferente do CAD 2D.
	7. Não é difícil aprender o 3D. Não porque a toda hora eu fico riscando perspectivas para entender as interferências.
	8. Não sabe se é difícil. Mas acha é deve ser muito mais fácil.
	9. No começo deve ser difícil aprender. Mas depois não deve ser demorado.
	10. [Sobre a eliminação de plantas cortes] Mas aonde a gente colocaria as dimensões.

Entrevistado	Projetista 4 (PRJ.4)
Comentários durante a observação em 2D	1. Teria que olhar o esgoto, com a altura da sanca, para ver se tem interferência com a saída do aquecedor.
	2. Se esses furos que ele pede estão passando abaixo do forro.
	3. Para ver se a sanca está acima da altura da viga externa.
	4. [Você faria isso como, para identificar a interferência] O furo é só dar uma calculada . Para ver se é do topo da laje. Normalmente uma vista, um corte, para checar isso. Teria

Entrevistado	Projetista 4 (PRJ.4)
	que dar uma olha no projeto de instalações. Seria mais com corte e essas vistas para ver se há interferência.
Comentários durante a observação em 3D	1. [Ela se aproximou mais do vídeo do que na observação em 2D]
	2. [Pedi para girar a imagem para ver do outro lado]
	3. Consegue ver a tubulação passando, está acima do forro. O esgoto...
	4. Se precisasse fazer assim para ver abaixo da sanca.
	5. A hidráulica está passando no meio da pressurização. [Descreveu claramente todo o caminho das instalações]
Comentários em questões abertas	1. [Foi mais fácil perceber o problema em 2D ou 3D] A visualização assim [em 3D] é mais próximo do real. O 3D é mais fácil, não tem dúvida. Talvez com corte, mostrando a tubulação com caimento, teria uma visualização melhor do que em planta.
	2. [Quanto cortes?] Dois ou três cortes.
	3. [Representação em corte tem limitação para o projeto?] Tem. Às vezes precisa pedir um número maior de cortes para poder ver corretamente. Mas se você fizer a quantidade necessária. Precisa ver quanto é essa quantidade necessária. Um corte e uma elevação e a planta não é suficiente.
	4. [Quanto tempo leva para fazer um corte?] Se for esquemática para estudo... uma meia hora a 45 minutos. [Com precisão] Uma hora. Acho que uma hora dá pra fazer, com caimento, sanca, espessura de laje etc.
	5. Aí [em 3D] dá para ver direitinho o caimento, o cruzamento etc.
	6. Eles calculam, calculam e sempre dá diferença [sobre os furos que precisaram ser alterados por causa das interferências que não foram percebidas]
	7. É difícil de aprender [o 3D].
	8. O CAD 3D me parece que é mais demorado que representar do que do 2D.
	9. [Sobre usar o 3D pela obra] Talvez fosse mais fácil fazer o protótipo. [real na obra]