UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL

ARI MONTEIRO

PROJETO PARA PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM
ALVENARIA EM UMA FERRAMENTA CAD-BIM

São Paulo, SP

2011

ARI MONTEIRO

**PROJETO PARA PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES VERTICAIS EM
ALVENARIA EM UMA FERRAMENTA CAD-BIM**

**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

2011

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, 4 de julho de 2011.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Monteiro, Ari

Projeto para produção de vedações verticais em alvenaria em uma ferramenta CAD-BIM / A. Monteiro. -- ed.rev. -- São Paulo, 2011.

111 p.

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

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

DEDICATÓRIA

*À Luz da Lei Mística que permeia todas as coisas do Universo:
Nam-Myoho-Rengue-Kyo.*

*Ao meu mestre da Vida:
Dr. Daisaku Ikeda.*

*Aos meus pais:
Responsáveis pela minha existência.*

*À minha esposa e filhos:
Motivação da minha existência.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos, por ter acreditado em meu potencial e me aceito como seu orientando; pela sua dedicação e paciência, principalmente pelo meus atrasos e entregas em cima da hora. Muito Obrigado!!

À minha esposa por ter me aturado e acreditado em mim, mesmo nos momentos mais difíceis de nossa vida. Meu amor...o melhor ainda está por vir!

Aos meus filhos Yasmin e Yan, grandes valores que alimento grande expectativa. Papai está observando o progresso de vocês com muito orgulho. Nunca desistam de seus objetivos!

Aos meus companheiros de Fé e luta da Gakkai pelo apoio, orientações e incentivos, durante estes 3 anos. Agora vou poder dedicar mais tempo ao Kossen-Rufu!

Aos meus amigos e familiares peço desculpas pela ausência nos finais de semana e até mesmo durante a semana...rs...Vamos compensar tudo isto, ok?

À Arquiteta Rita Cristina Ferreira, amiga, parceira e GRANDE colaboradora desta pesquisa. Obrigado por ter me dado a chance de conhecer o Prof. Toledo e me ajudado a concretizar mais um grande objetivo!

Ao meu amigo Augusto Gonçalves, da Autodesk Brasil, pelo excelente treinamento na API do Autodesk Revit Architecture e pela paciência e atenção dispensada nos suportes técnicos por e-mail!

Aos sócios da Skynet, Roberto e Liliane, pelos incentivos que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional. Que a Força esteja com vocês!

Aos clientes da Dharma Sistemas pela compreensão de aguardarem o término desta pesquisa para retomarmos os trabalhos de implantação e desenvolvimento de sistemas para engenharia e arquitetura.

À Wandréa Dantas, Fatima Regina Goncalves Sanches Domingues e demais membros da secretaria do PCC, sempre muito atenciosos e pacientes no atendimento dos pós-graduandos.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente colaboram para a realização deste trabalho. Muito obrigado pela ajuda de todos!

EPÍGRAFE

"É desafiando corajosamente as dificuldades que conseguimos concretizar nossos maiores sonhos e os mais elevados ideais."

Dr. Daisaku Ikeda

RESUMO

Este trabalho propõe uma metodologia para representar o PPVVA (Projeto para Produção de Vedações Verticais em Alvenaria) em ferramentas CAD-BIM de maneira a não degradar significativamente o desempenho de manipulação do modelo BIM devido à grande quantidade de componentes. Ao mesmo tempo, propõe uma linguagem computacional para descrever modulações de alvenaria e a especificação de novas funcionalidades nos CAD-BIM para automatizar algumas atividades do PPVVA. A pesquisa foi organizada adotando-se a seguinte metodologia: (i) avaliação dos principais CAD-BIM do mercado; (ii) levantamento de requisitos de representação dos objetos do PPVVA; (iii) especificação do modelo de representação; (iv) implementação do modelo e (v) definição de um fluxo de trabalho para utilização do modelo proposto. A avaliação dos principais CAD-BIM possibilitou verificar as limitações destas aplicações no atendimento dos requisitos de representação do PPVVA e a necessidade de adequação destas aplicações para esse uso. A partir de entrevistas com projetistas de vedações foi possível coletar e sistematizar regras, que serviram de base à elaboração do modelo de representação proposto. Uma das idéias chave deste modelo de representação é a especificação de uma linguagem de descrição para modulações de alvenaria chamada de MMDL (*Masonry Modulation Description Language*). A utilização da MMDL mostrou-se uma alternativa interessante para representar implicitamente os elementos do PPVVA. Uma abordagem de representação explícita, por meio de famílias de objetos, também foi utilizada. Embora esta última abordagem demande mais recursos da aplicação, ela oferece maior flexibilidade ao projetista na manipulação de cada elemento da modulação de alvenaria. Para contornar o problema de desempenho da representação explícita, foi utilizado o conceito de referência a arquivos externos, o que permite segmentar modelos complexos em modelos menores que podem ser manipulados com maior facilidade. Com base nestas características do modelo proposto, espera-se que este possa servir como uma boa alternativa para minimizar o problema de desempenho na manipulação de modelos BIM gerados por projetistas de vedações.

Palavras chave: Projeto para produção, Projeto de alvenaria, CAD, BIM.

ABSTRACT

This work proposes a methodology for representing the MDP (Masonry Design for Production) in BIM-CAD tools in a way that does not significantly degrade the handling performance of a BIM model due to its large quantity of components. At the same time, it proposes a computer language for describing masonry modulation and specifies new functionalities for BIM-CAD tools aiming the automation of some MDP tasks. The research was organized according to the following methodology: (i) evaluation of the main BIM-CAD tools; (ii) compilation of the representation requirements of MDP objects; (iii) specification of a representation model; (iv) model implementation and; (v) definition of a workflow for using the proposed model. The evaluation of the main BIM-CAD tools showed the limitations of these applications regarding the requirements of MDP as well as the need for adapting these tools for such use. From interviews with masonry designers, rules were collected and systematized, serving as a base for preparing the proposed representation model. One of the key ideas of this model is the specification of a description language for masonry modulation, called MMDL (Masonry Modulation Description Language). The use of MMDL was shown to be an interesting alternative for implicitly representing the MDP elements. An explicit representation approach, through object families, was also used. Although this approach demands more resources from the application, it offers more flexibility to the designer concerning the direct manipulation of each individual masonry element. As a workaround to the performance problem of the explicit representation, the concept of external detailing files was used, allowing the segmentation of complex models into smaller ones which can be handled easier in the BIM-CAD tool. Based on these features of the proposed model, it is hoped that it can serve as a good alternative for minimizing the performance problem when handling BIM models generated by masonry designers.

Key words: Design for Production, Masonry Design, CAD, BIM

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Marcações de furações para instalações (DUEÑAS PEÑNA, 2003).	23
Figura 2 - Marcações de 1º fiada e 2º fiada (DUEÑAS PEÑNA, 2003).	24
Figura 3 - Esquema de níveis das fiadas de alvenaria (DUEÑAS PEÑNA, 2003). ...	24
Figura 4 - Elevação de parede (DUEÑAS PEÑNA, 2003).	25
Figura 5 - Detalhe de verga (DUEÑAS PEÑNA, 2003).	25
Figura 6- Exemplos de famílias carregáveis (AUTODESK, 2010a).	33
Figura 7 – Elevação de parede apresentando alguns objetos do PPVVA (FERREIRA, 2007).	36
Figura 8 - Trecho de código IFC (Viga de Concreto).	36
Figura 9 – Trecho de código de um arquivo IFC (Bloco de Concreto).	37
Figura 10 - Modelos generativos (BENTLEY, 2011; PARACLOUD, 2009).	38
Figura 11 - Exemplo de código GML (HAVEMANN, 2008).	38
Figura 12 - Hierarquia sistêmica do edifício (CODINHOTO; FERREIRA, 2004).	39
Figura 13 - Família de blocos inteiros de vedação (GLASSER, 2011).	40
Figura 14 - Família de 1/2 blocos de vedação (GLASSER, 2011).	40
Figura 15 - Elementos da modulação (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009). .	41
Figura 16 - Função das vergas e contravergas.	42
Figura 17– Aplicações de telas eletrosoldadas (ARCELORMITTAL, 2011).	43
Figura 18– Detalhes de instalação da tela metálica para ligação entre parede e pilar (MEDEIROS; FRANCO, 1999).	43
Figura 19 - Exemplo de amarração intertravada.	46
Figura 20 - Exemplo de amarração por tela.	46
Figura 21 - Dados extraídos de uma parede (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009).	52
Figura 22 - Camadas de uma parede (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009). .	54
Figura 23 - Parede com padrão de hachura - blocos de concreto.	55

Figura 24 – Padrão de hachura para representar blocos inteiros e ½ blocos.	57
Figura 25 - Quantitativo de blocos a partir de um padrão de hachura.....	58
Figura 26 - Expressão MMDL para sequência de blocos.....	64
Figura 27 - Expressão MMDL para contravergas.....	64
Figura 28 - Expressão MMDL para contravergas.....	65
Figura 29 - Expressão MMDL para telas soldadas.	65
Figura 30 - Famílias 2D (planta e elevação) de uma família 3D de bloco inteiro.	70
Figura 31 - Barra de ferramentas do protótipo.	71
Figura 32 - Configuração do Projeto - Tela1	72
Figura 33 - Configuração do Projeto - Tela2	73
Figura 34 - Configuração de Projeto - Tela3	73
Figura 35 - Mensagem informando ausência de arquivo de configuração.....	75
Figura 36 - Exemplos de “regiões” que podem existir numa parede.....	76
Figura 37 - Exemplo de modelo BIM de arquitetura.....	79
Figura 38 - Identificação de cada parede no modelo BIM de arquitetura.	80
Figura 39 - Comando Configurar Projeto.	80
Figura 40 - Arquivos criados pelo comando Gerar Modulação.	81
Figura 41 - Arquivos de modulação criados pelo comando Gerar Modulação.	81
Figura 42 - Ajustes na solução inicial de modulação de cada parede.....	82
Figura 43 - Detalhe ampliado de uma planta de 1º fiada.	82
Figura 44 - Exemplos de elevações de paredes.	83
Figura 45 - Resultado do comando Quantitativo de Elementos.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das limitações da representação 2D (FERREIRA, 2007)..	30
Tabela 2 – Principais Ferramentas CAD-BIM.	48
Tabela 3 - Especificação do formato de arquivo PAT (AUTODESK, 2010).	56
Tabela 4 - Padrão de hachura para modulação de bloco inteiro e 1/2 bloco.	56
Tabela 5 – Exemplo de arquivo MMDL.	63
Tabela 6 - Formas de controle de RHS em regras EBNF.	66
Tabela 7 - EBNF para representar números inteiros positivos ou negativos.....	67
Tabela 8 – EBNF da MMDL.	67
Tabela 9 – Exemplo de arquivo de configuração de projeto.	74

LISTA DE SIGLAS

ABCI	Associação Brasileira da Construção Industrializada
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABRASIP	Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AEC/FM	Arquitetura, Engenharia e Construção/Gerenciamento de Facilidades
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Model/Modeling</i>
BNF	<i>Backus-Naur Form</i>
BPM	<i>Building Product Model</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Projeto Auxiliado por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Auxiliada por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Fabricação Auxiliada por Computador)
EBNF	<i>Extended Backus-Naur Form</i>
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
GML	<i>Generative Modeling Language</i>
IDE	<i>Interface Development Environment</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
LHS	<i>Left Hand Side</i> (Lado esquerdo)
MEP	<i>Mechanical, Electrical and Plumbing</i>
MMDL	<i>Masonry Modulation Description Language</i>
NBR	Norma Brasileira
PDM	<i>Product Data Management</i>
PPVVA	Projeto para Produção de Vedações Verticais em Alvenaria
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
RHS	<i>Right Hand Side</i> (Lado direito)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	18
1.2. JUSTIFICATIVA.....	20
1.3. OBJETIVOS.....	21
2. REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1. PROJETO DE ALVENARIA	22
2.2. FLUXO DE TRABALHO DO PPVVA	26
2.2.1. Seleção Tecnológica.....	26
2.2.2. Modulação e compatibilização inicial entre arquitetura e estrutura.....	27
2.2.3. Detalhamento das paredes e compatibilização	28
2.3. TECNOLOGIA CAD & PROJETO DE ALVENARIA.....	28
2.3.1. CAD 2D.....	29
2.3.2. CAD 3D.....	29
2.3.3. CAD-BIM.....	32
2.4. IFC - INDUSTRY FOUNDATION CLASSES.....	34
2.5. MODELAGEM GENERATIVA.....	37
2.6. MODULAÇÃO DE ALVENARIA.....	39
2.6.1. Elementos da modulação de alvenaria	39
2.6.2. Elementos básicos.....	40
2.6.3. Elementos de ligação.....	40
2.6.4. Elementos estruturais	41
2.7. REGRAS PARA MODULAÇÃO DE ALVENARIA	44
2.7.1. Modulação horizontal.....	44
2.7.2. Amarração de paredes	45
2.7.3. Modulação vertical	46

3.	METODOLOGIA	47
3.1.	SELEÇÃO DO CAD-BIM PARA OS EXPERIMENTOS	48
3.2.	LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DO PPVVA.....	49
3.3.	ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE REPRESENTAÇÃO	49
3.4.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE REPRESENTAÇÃO	50
3.5.	FLUXO DE TRABALHO DO MODELO DE REPRESENTAÇÃO	50
4.	REPRESENTAÇÃO DOS OBJETOS DO PPVVA	51
4.1.	REPRESENTAÇÃO EXPLÍCITA.....	51
4.2.	REPRESENTAÇÃO IMPLÍCITA	54
4.3.	REPRESENTAÇÃO EXPLÍCITA X IMPLÍCITA.....	59
5.	LINGUAGEM PARA DESCRIÇÃO DE MODULAÇÕES	61
5.1.	REQUISITOS PARA ESPECIFICAÇÃO DA LINGUAGEM MMDL	61
5.2.	ESPECIFICAÇÃO DA LINGUAGEM MMDL.....	65
5.2.1.	NOTAÇÃO EBNF.....	65
6.	PERSONALIZAÇÃO DA FERRAMENTA CAD-BIM.....	69
7.	FERRAMENTA CAD-BIM PARA O PPVVA.....	71
7.1.	CONFIGURAR PROJETO	71
7.2.	GERAR MODULAÇÃO	75
7.3.	ATUALIZAR MODULAÇÃO	77
7.4.	QUANTITATIVO DE ELEMENTOS	77
7.5.	PLANTAS DE FIADAS.....	78
7.6.	ELEVAÇÕES DE PAREDES	78
7.7.	UTILIZAÇÃO DOS NOVOS RECURSOS NO CAD-BIM.....	79
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
8.1.	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	86
8.2.	TRABALHOS FUTUROS.....	86

REFERÊNCIAS.....	87
BIBLIOGRAFIA ADICIONAL CONSULTADA.....	92
ANEXO I – ROTEIRO DE ENTREVISTA UTILIZADO PARA OS PROJETISTAS DE VEDAÇÕES	93
ANEXO II – ENTREVISTA DO “PROJETISTA A”	94
ANEXO III – ENTREVISTA DO “PROJETISTA B”	97
ANEXO IV – ENTREVISTA DO “PROJETISTA C”	109

INTRODUÇÃO

A tecnologia CAD (*Computer Aided Design*) 3D está mais uma vez evoluindo para atender às novas necessidades de seus usuários. Depois da inovação do CAD 3D paramétrico, muito explorado pelas indústrias aeroespacial, automobilística e de manufatura, uma nova tecnologia está surgindo: o BIM (*Building Information Modeling*).

Segundo Eastman et al. (2008) o BIM é uma das mais promissoras tecnologias desenvolvidas especificamente para a construção civil:

[...] com BIM é possível criar um modelo virtual preciso do edifício construindo-o digitalmente. Quando completado, este modelo contém geometrias e dados importantes para dar suporte a todo o ciclo de vida da edificação (EASTMAN et al., 2008, p. 1, tradução nossa).

Outra interpretação para BIM é o conjunto de todas as informações geradas e mantidas ao longo do ciclo de vida de uma edificação. Este conjunto de informações configura-se no modelo (virtual) de informação do edifício (*Building Information Model*). BIM também pode significar o processo de geração, utilização e manutenção do modelo de informação do edifício.

As informações contidas no modelo virtual do edifício podem ser usadas de diversas maneiras. Algumas aplicações são: geração da documentação para a construção, extração de quantitativos de materiais, análises de desempenho dos sistemas construtivos, análises de interferências espaciais, etc. (EASTMAN et al., 2008).

Apesar da recente ascensão do BIM, este conceito remonta aos anos 70 (YESSIOS, 2004) com a publicação de artigos do Prof. Charles M. Eastman sobre BPM (*Building Product Model*), que tem essencialmente o mesmo significado que o BIM (EASTMAN, 1999).

Hoje há muita controvérsia a respeito de quem concebeu o termo BIM. Foi o arquiteto Phil Bernstein, estrategista da Autodesk Inc. para indústria da construção e membro do AIA (*American Institute of Architects*), quem primeiro usou o termo BIM. Jerry Laiserin (LAISERIN, 2002), ajudou a popularizar e padronizar o termo, como um nome comum para o processo de representação digital de edifícios, oferecido

inicialmente pela GRAITEC, Bentley Systems, Autodesk e Graphisoft para facilitar a troca de dados e a interoperabilidade da informação no formato digital.

De acordo com Laiserin (2003), Howell e Batcheler (2005), a primeira implementação do BIM foi o conceito de Edifício Virtual (*Virtual Building*) no *software* ArchiCAD da Graphisoft, lançado em 1987.

As soluções BIM oferecidas hoje no mercado são compostas, segundo seus fabricantes, por ferramentas especializadas para projetos de arquitetura, estrutura e de instalações prediais, além de também permitirem a integração destes projetos. Neste trabalho adotou-se o termo CAD-BIM para fazer referência a estas novas ferramentas de projeto.

Estudos comprovam (FERREIRA; SANTOS, 2004) que o CAD 3D, mesmo não personalizado, chega a ter em geral melhor desempenho que um CAD 2D. Entretanto, o CAD 3D não especializado em AEC é limitado quando comparado ao CAD-BIM.

Uma das características que ressaltam a diferença entre o CAD 3D e o CAD-BIM é que este último possui objetos especiais chamados objetos AEC. Estes objetos representam os elementos arquitetônicos mais comuns nas edificações, como paredes, portas, janelas, pisos, pilares, vigas, etc.

Os objetos AEC são capazes de representar dados geométricos como suas dimensões, volumes e áreas, e também, dados não-geométricos como materiais de acabamento, fabricante, custo e relacionamentos com outros objetos.

Por exemplo, um objeto janela pode conter dados como a largura e altura do vão, dimensão do peitoril, se é de madeira ou de alumínio, o fabricante, o custo, etc. Além disso, este mesmo objeto pode conter uma relação de dependência com os objetos parede permitindo a inserção deste objeto apenas dentro de paredes.

Outra diferença está na facilidade para extrair levantamentos de materiais e gerar a documentação do projeto para a obra. Estes elementos mantêm relação com o modelo BIM, de forma que se o mesmo for editado, eles serão automaticamente atualizados. Ocorre que em um CAD 3D não especializado em AEC estes mesmos elementos devem ser revisados quando o modelo 3D é alterado.

Mesmo com todas as facilidades oferecidas no CAD-BIM em relação às tecnologias antecessoras, verificou-se que estas novas ferramentas precisam ser ampliadas adequadamente antes que possam ser usadas no contexto do PPVVA.

A necessidade desta alteração vem do fato dos CAD-BIM atuais não possuírem objetos AEC diretamente aplicáveis ao PPVVA (blocos, juntas, vergas, contravergas e telas). Além disso, eles ainda não possuem recursos para automatizar atividades comuns no PPVVA como a modulação de alvenaria, geração de elevações e plantas de fiadas. Nesta pesquisa procurou-se investigar as possibilidades de configuração de um CAD-BIM, de forma adequá-lo à elaboração de projetos de alvenaria de vedação.

1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

No PPVVA, existe uma atividade chamada modulação de alvenarias que consiste, basicamente, em distribuir os elementos que compõem uma parede. Nesta atividade, o projetista de vedações deve resolver as possíveis interferências entre as paredes e destas com os outros subsistemas, tais como a estrutura e as instalações.

A resolução de interferências requer do projetista muita atenção aos detalhes de como a alvenaria deve ser executada na obra. Neste contexto, a tecnologia CAD é aliada importante para ajudar os projetistas nesta atividade.

Todos os escritórios especializados em PPVVA utilizam algum tipo de CAD (2D/3D/BIM) para auxiliar na execução de seus projetos. A forma convencional de projetar alvenarias, ainda adotada pela maioria dos escritórios, é a utilização da tecnologia CAD 2D. Dueñas Peña (2003) propõe uma metodologia para execução do PPVVA utilizando a representação gráfica 2D.

Ferreira (2007) aponta diversas limitações na utilização da representação 2D para executar o PPVVA. Segundo Ferreira (2007, p. 69): "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".

Dependendo da tecnologia CAD adotada pelos escritórios de PPVVA, verificou-se que o nível de dificuldade para resolver interferências de projeto é

minimizado com a utilização do CAD 3D, e mais recentemente com o CAD-BIM, em oposição à utilização do CAD 2D.

Enquanto que para a arquitetura, estrutura e instalações prediais os CAD-BIM já dispõem de objetos para dar suporte a estas disciplinas, tais como paredes, pilares e tomadas, verificou-se que os objetos necessários para representar a modulação da alvenaria estão ausentes.

Por exemplo, o objeto *wall* (parede) tem sua representação limitada às suas faces externas e uma lista de camadas utilizadas para representar sua composição interna (núcleo e revestimentos). Esta representação torna os modelos 3D mais leves, favorecendo sua manipulação pelo o usuário e o desempenho da aplicação.

No entanto, para o PPVVA é necessário um nível de detalhe superior àquele oferecido por esta solução e uma representação mais completa dos elementos da parede torna-se importante.

O problema principal está nos objetos que se apresentam em maior quantidade numa parede, tais como blocos e juntas. A representação explícita destes elementos pode demandar muitos recursos de hardware ocasionando a diminuição do desempenho do CAD-BIM e, conseqüentemente, a diminuição da produtividade do projetista de vedações (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009).

Nesta pesquisa foram analisadas as abordagens de representação disponíveis nos CAD-BIM e os detalhes operacionais do PPVVA. Por meio desta análise foi possível identificar a seguinte questão de pesquisa: como representar elementos de uma modulação de alvenaria com o objetivo de atender os requisitos do projeto de PPVVA e, ao mesmo tempo, não degradar o desempenho de manipulação do modelo BIM?

Com base neste contexto, foram considerados dois pontos importantes para delimitar o problema da pesquisa:

- A proposição de um novo modelo de representação para os objetos do PPVVA que permita a elaboração deste tipo de projeto em um CAD-BIM;
- A especificação de novas funcionalidades no CAD-BIM para auxiliar os projetistas de vedações na elaboração do PPVVA.

1.2. JUSTIFICATIVA

Atualmente, os principais desenvolvedores de sistemas CAD têm apostado neste novo conceito e oferecido soluções baseadas no conceito de BIM (AUTODESK, 2011; BENTLEY, 2011; GRAPHISOFT, 2011). Entretanto, verificou-se nesta pesquisa que estas ferramentas necessitam de alterações, antes que possam ser utilizadas no PPVVA com eficiência.

Considerando este cenário, alguns pontos importantes podem ser apresentados como justificativa para esta pesquisa:

- O papel de importância do PPVVA na racionalização dos processos produtivos e na compatibilização dos subsistemas que fazem interface com alvenaria;
- O interesse das empresas construtoras na contratação do PPVVA;
- A crescente disseminação da tecnologia BIM no Brasil (Prates, 2011);
- A falta de recursos específicos nos CAD-BIM para dar suporte ao PPVVA, o que dificulta a migração dos escritórios especializados para esta tecnologia;
- A dificuldade de manipulação de modelos 3D complexos com centenas ou milhares de objetos representados explicitamente, causando sérios problemas de desempenho na aplicação e consequentemente, a queda de produtividade dos usuários destes modelos 3D.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consiste em propor um modelo de representação para os objetos do PPVVA aplicável a qualquer CAD-BIM que tenha suporte ao conceito de famílias e ao desenvolvimento de novos comandos utilizando recursos de linguagem de programação, de forma permitir a execução das seguintes atividades do PPVVA:

- Modulação de alvenaria das paredes considerando as interfaces entre paredes/paredes e paredes/esquadrias;
- Geração da documentação do PPVVA necessária para obra (plantas de fiadas e elevações de paredes);
- Extração de quantitativos.

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- Especificar quais as adições necessárias numa ferramenta CAD-BIM para adequá-la ao PPVVA;
- Especificar uma linguagem computacional para descrever modulações de alvenaria associando estas descrições aos objetos *wall* (parede) convencionais do CAD-BIM;
- Especificar um conjunto de novas funcionalidades (novos comandos) no CAD-BIM para automatizar as atividades de modulação, documentação e extração de quantitativos;
- Desenvolver as funcionalidades de modulação e extração de quantitativos usando recursos de programação disponíveis na ferramenta CAD-BIM adotada nesta pesquisa;
- Definir um fluxo de trabalho para a utilização do modelo de representação proposto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. PROJETO DE ALVENARIA

O PPVVA surgiu no fim da década de 80, a partir de um trabalho de pesquisa da EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) em convênio com a ENCOL (empresa construtora) (SILVA, 2003).

Como resultados daquela pesquisa, surgiram alguns conceitos que muito influenciaram para tornar o PPVVA um tipo de projeto integrador e focado na racionalização dos diversos subsistemas que fazem interface com a alvenaria. Entre esses conceitos está a execução simultânea de parte das instalações elétricas e hidráulicas com a alvenaria (FERREIRA, 2007).

Nesse contexto, o PPVVA foi lançado no mercado como um serviço que associa a racionalização da construção e a compatibilização entre os subsistemas com os quais a alvenaria faz interface, tais como a estrutura, instalações elétricas e hidráulicas, revestimentos entre outros.

O termo compatibilização é muito citado nesta pesquisa. Apesar de ser utilizado em diversas áreas do conhecimento para referenciar o processo que tem como objetivo tornar diferentes elementos compatíveis entre si, a maioria dos dicionários não apresentam a definição para este termo. Normalmente, constam os termos “compatibilidade” ou “compatível”. No PPVVA, este termo é utilizado para referenciar o processo de análise e solução das interfaces entre a alvenaria e os outros subsistemas da edificação.

O PPVVA também promove o aparecimento de atividades de compatibilização 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).

A natureza deste projeto conduz o projetista à verificação das interferências entre os diversos subsistemas que compõem um edifício e ainda gerar uma precisa documentação para execução das alvenarias.

Segundo Ferreira (2007) e Dueñas Peña (2003), em geral, esta documentação é composta pelos seguintes elementos: (a) plantas de marcações de furações para instalações na estrutura (Figura 1); (b) plantas de marcações de primeira e segunda fiadas (Figura 2, p. 24); (c) esquema de níveis das fiadas de alvenaria (galga da alvenaria) (Figura 3, p. 24); (d) elevações de cada parede (Figura 4, p. 25) e (e) detalhes gerais de vergas, contravergas e outras peças pré-moldadas (Figura 5, p. 25).

Figura 1 - Marcações de furações para instalações (DUEÑAS PEÑNA, 2003).

Figura 2 - Marcações de 1º fiada e 2º fiada (DUEÑAS PEÑNA, 2003).

Figura 3 - Esquema de níveis das fiadas de alvenaria (DUEÑAS PEÑNA, 2003).

Figura 4 - Elevação de parede (DUEÑAS PEÑNA, 2003).

Figura 5 - Detalhe de verga (DUEÑAS PEÑNA, 2003).

2.2. FLUXO DE TRABALHO DO PPVVA

Embora existam algumas referências normativas (NBR 15873/2010, NBR-10837/1989, etc.) que podem ser utilizadas para a elaboração do PPVVA, as práticas vigentes são, na verdade, uma mescla destas normas com a experiência dos projetistas.

Dueñas Peña (2003) apresenta uma metodologia para a execução do PPVVA utilizando o CAD 2D. O trabalho de Ferreira (2007) aponta para um avanço na utilização do CAD 3D, onde pode ser encontrada uma macro sistematização do fluxo de trabalho para o PPVVA.

Ferreira (2007) se baseia no guia do PMBOK (PMI, 2000), no qual um projeto pode ser dividido em fases que marcam a entrega de produtos intermediários e que possibilitam o amadurecimento gradual do produto final. Essas fases são: (a) Levantamentos e Estudos Iniciais; (b) Desenvolvimento; (c) Fechamento do Projeto e (d) Assistência Técnica à Obra.

Ferreira (2007) detalhou essas fases, focando a utilização do CAD 3D. O fluxo de trabalho descrito por Ferreira (2007) pode ser adaptado para as funcionalidades disponíveis nas ferramentas CAD-BIM.

Dentre as fases descritas, as mais relevantes para esta pesquisa são aquelas que envolvem os seguintes processos: (a) seleção tecnológica; (b) modulação e compatibilização inicial entre arquitetura e estrutura e (c) detalhamento das paredes e compatibilização. Estes processos serão descritos a seguir.

2.2.1. Seleção Tecnológica

A seleção tecnológica envolve a definição das regras e dos elementos (famílias de blocos, vergas, contra vergas, tipo de amarração de paredes, dimensões das juntas, tipo de telas, etc.) que serão utilizados para desenvolver o projeto. No CAD-BIM, parte deste processo é atendido com a elaboração de famílias

de objetos. Mas, o CAD-BIM ainda não possui recursos para definir e armazenar as regras utilizadas para resolver modulações de alvenaria.

2.2.2. Modulação e compatibilização inicial entre arquitetura e estrutura

A modulação e compatibilização incluem a resolução da modulação vertical e horizontal da alvenaria, que, conseqüentemente, envolve a compatibilização da arquitetura com a estrutura. Para resolver estas modulações o projetista de vedações utiliza as regras definidas na seleção tecnológica e os modelos 3D da estrutura e arquitetura (paredes com aberturas de portas e janelas).

No caso específico do processo descrito por Ferreira (2007), os projetos de estrutura e arquitetura são fornecidos pelo cliente em 2D e o projetista de vedações os converte para o 3D. No contexto do BIM, estes dois projetos já viriam do cliente em 3D e, eventualmente, no formato IFC¹ no caso dos projetistas envolvidos utilizarem ferramentas CAD-BIM diferentes daquela utilizada pelo projetista de vedações.

Para compatibilizar a arquitetura e a estrutura, o projetista de vedações deve definir um ponto de origem (0,0,0) comum para estes sistemas. Utilizando este procedimento, os objetos do PPVVA são posicionados corretamente em relação aos projeto de arquitetura e estrutura.

¹ Sigla de Industry Foundation Classes, formato de dados neutro utilizado para descrever, trocar e compartilhar informações tipicamente utilizadas em AEC/FM (ver p. 34).

2.2.3. Detalhamento das paredes e compatibilização

No processo de detalhamento das paredes e compatibilização, o projetista de vedações resolve a amarração de paredes, insere os demais elementos referentes aos outros subsistemas (caixilhos, vergas, contravergas, telas, hidráulica, elétrica, etc.) e gera a documentação 2D do projeto que será entregue à obra.

2.3. TECNOLOGIA CAD & PROJETO DE ALVENARIA

Entrevistas realizadas com escritórios de PPVVA (ver Anexos I à IV) mostraram que alguns destes escritórios já estão começando a utilizar ferramentas CAD-BIM. Acredita-se que este fenômeno se deva à crescente utilização destas mesmas ferramentas pelos projetistas de arquitetura e estrutura, com os quais os projetistas de vedações possuem constante interação.

Também foi verificado durante a pesquisa que os projetistas de instalações prediais, em sua maioria ainda utilizam o CAD 2D. Em Rocha (2011), são discutidos os resultados de testes com os principais CAD-BIM para sistemas prediais (MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing*) disponíveis no mercado brasileiro.

Estes testes foram conduzidos pela Abrasip (Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais) em parceria com construtoras e apontam a falta de interoperabilidade entre os CAD-BIM e as ausências de bibliotecas de componentes para instalações prediais nacionais e de recursos, como os principais fatores que impedem os projetistas de instalações a migrarem para estas novas ferramentas.

A carência dos projetistas de instalações é similar a dos projetistas de vedações. Apesar de ser possível utilizar famílias para desenvolver os objetos do PPVVA, os CAD-BIM ainda precisariam ter ferramentas específicas para automatizar tarefas comuns no PPVVA, tais como resolver modulações e gerar elevações de paredes.

Nos próximos tópicos serão apresentadas avaliações quanto à utilização da tecnologia CAD no contexto do projeto PPVVA.

2.3.1. CAD 2D

A utilização do CAD 2D para a elaboração do PPVVA é a prática corrente na maioria dos escritórios desta especialidade de projeto. A representação bidimensional dos elementos do PPVVA, bem como dos elementos de outros projetos como arquitetura, estrutura e instalações, dificulta as atividades de compatibilização entre estes subsistemas.

Segundo Ferreira (2007), a utilização de representações bidimensionais obriga os projetistas a exercitarem continuamente a abstração e memorização das informações nos projetos. Este fato pode contribuir para o surgimento de problemas de interpretação por parte dos projetistas e à representações ambíguas, devido às limitações do ambiente bidimensional. Estas limitações contribuem, essencialmente, na dificuldade para identificar interferências no projeto.

A

Tabela 1 (p. 30) apresenta as categorias de problemas encontrados por Ferreira (2007), a partir de um estudo de caso, que comparou a execução de projetos de alvenaria utilizando o CAD 2D e o CAD 3D.

2.3.2. CAD 3D

A tecnologia CAD 3D já é bastante difundida em outras indústrias há vários anos, sendo essencial no desenvolvimento de produtos manufaturados complexos, como aeronaves, automóveis, máquinas e equipamentos. No setor da construção civil, a exemplo do uso do CAD 2D, esta tecnologia é também subutilizada. Relegada à criação de maquetes eletrônicas para divulgação comercial de empreendimentos, as outras potencialidades desta tecnologia são geralmente ignoradas.

Tabela 1 – Classificação das limitações da representação 2D (FERREIRA, 2007).

Categoria	Descrição	Exemplo
Ambiguidade	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 drywall e a existência de um shaft 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.

As ferramentas CAD 3D, em relação à técnica de modelagem que utilizam, podem ser classificadas como paramétricas ou não-paramétricas. O CAD 3D não-paramétrico permite a criação de objetos 3D, mas não permite a modificação destes objetos por meio da edição de parâmetros.

Por exemplo, se o usuário modelou uma caixa sólida e deseja alterar sua altura, comprimento ou largura, ele deve acrescentar ou remover material ao sólido. Não há como manipular diretamente os parâmetros correspondentes às dimensões do sólido.

Em oposição, o CAD 3D paramétrico permite associar as dimensões do sólido modelado a parâmetros, os quais podem ser manipulados diretamente pelo usuário para atualizar o modelo.

Além disso, o usuário ainda pode criar relações matemáticas entre estes parâmetros para acrescentar maior flexibilidade na modificação do modelo 3D. Por exemplo, o parâmetro comprimento pode ser igual a 2 vezes a largura, e a altura igual a 3 vezes a largura. A alteração da largura causa a atualização automática do comprimento e altura do modelo 3D, ambos os parâmetros dependentes do parâmetro largura.

O CAD 3D paramétrico é muito utilizado na indústria de manufatura, inclusive integrado com outros tipos de sistemas, tais como, CAM (*Computer Aided Manufacturing*), CAE (*Computer Aided Engineering*) e PDM (*Product Data Management*).

Apesar das limitações do CAD 3D não-paramétrico, Ferreira (2007) apresenta vários benefícios obtidos com o uso desta tecnologia aplicada ao desenvolvimento do PPVVA: (a) potencial redução de custo, em função da redução concomitante de erros e enganos decorrentes da deficiência de visualização espacial; (b) redução de tempo de desenvolvimento do produto, especialmente se utilizado um modelo único e (c) melhoria da qualidade da produção, em função da melhor percepção de detalhes construtivos, incluindo questões como a redução de riscos de acidentes, o aperfeiçoamento dos processos de produção e a redução de retrabalhos.

2.3.3. CAD-BIM

As ferramentas CAD-BIM representam a tecnologia emergente no momento. São aplicativos que utilizam o poder do CAD 3D paramétrico somado a uma coleção de objetos paramétricos chamados objetos AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção).

Exemplos de objetos AEC são: portas, janelas, paredes, vigas, pilares, lajes, etc. Estes objetos agregam tanto características geométricas quanto comportamentais, isto é, são objetos capazes de interagir com outros objetos dependendo do contexto onde são inseridos.

Um objeto janela, por exemplo, só pode ser inserido em um objeto parede. Se o usuário mover a janela dentro da parede, a abertura de janela na parede é automaticamente atualizada. Se o usuário mover a janela para fora da parede, recebe uma mensagem de erro, pois o objeto janela, em alguns CAD-BIM, dependem do objeto parede para existir.

Apesar de permitirem a elaboração de projetos para produção, os CAD-BIM ainda são muito utilizados para projetos do produto (HALFAWAY; FROESE, 2002). Os CAD-BIM possuem grande potencial, se forem adequadamente adaptados, para o desenvolvimento de projetos para produção, tais como o PPVVA. Estas ferramentas possuem características paramétricas que agregam maior “inteligência” ao projeto e permitem a manipulação dos dados com muito mais facilidade do que nas tecnologias antecessoras (CAD 3D e CAD 2D).

As ferramentas CAD-BIM permitem a modelagem de novos objetos paramétricos por meio do conceito de famílias de objetos (Figura 6, p. 33). Uma família é um grupo de elementos (2D/3D) que possui um conjunto de propriedades comuns (parâmetros) e uma representação gráfica.

Os parâmetros de cada elemento de uma família podem assumir diferentes valores. Estas variações são chamadas de tipos ou tipos da família e um objeto de um tipo inserido no projeto é chamado de instância da família (AUTODESK, 2010a).

No guia do usuário para modelagem de famílias do *Autodesk Revit® Architecture* (AUTODESK, 2010a), por exemplo, são descritos 3 tipos de famílias: (a) famílias de sistema; (b) famílias carregáveis e (c) famílias locais.

As famílias de sistema definem os elementos básicos da construção tais como paredes, telhados, tetos/forros, pisos. Os elementos que definem configurações do sistema (níveis, grades, formatos de folha e *viewports*), também são exemplos de famílias de sistema.

Essas famílias são predefinidas e não é possível alterar suas definições básicas (comportamentos e redefinição de seus parâmetros). As únicas configurações permitidas são: (a) adição de novos tipos numa família existente e (b) adição de novos parâmetros. Geralmente, os objetos deste tipo de família necessitam de outros objetos na tela (os chamados objetos hospedeiros) para instanciar seus tipos (isto é, criar-se novos exemplares daquele tipo).

As famílias carregáveis são usadas para definir componentes da construção que normalmente são comprados, fabricados ou instalados, ou ainda, elementos de anotação, como rótulos de objetos e vistas. Estas famílias são armazenadas em arquivos de extensão RFA que devem ser carregados no projeto antes de sua utilização.

Figura 6- Exemplos de famílias carregáveis (AUTODESK, 2010a).

Uma vez carregada, os tipos desta família podem ser instanciados por meio de um comando específico do CAD-BIM. A partir daí, cada instância pode ter seus parâmetros alterados para atender a necessidades específicas do projeto.

As famílias locais definem elementos considerados específicos para um determinado projeto. A geometria de objetos construídos com famílias locais pode ser associada a outros objetos no projeto (paredes, lajes, telhados, etc.). Quando os objetos de referência sofrem alterações, estas são propagadas para o objeto da família local.

Famílias locais não podem ser compartilhadas com outros projetos. Elas são sempre criadas no contexto do projeto corrente. Não é recomendado criar muitas famílias locais em um projeto, pois isto pode degradar o desempenho da ferramenta CAD-BIM escolhida.

Os objetos AEC nativos do CAD-BIM (famílias de sistema) possuem representações 2D incorporadas para sua visualização nas vistas ortográficas. Estas representações são utilizadas durante a geração de plantas, cortes ou elevações.

2.4. IFC - INDUSTRY FOUNDATION CLASSES

Um dos pontos chave do BIM é o conceito de interoperabilidade (JACOSKI, 2003; LEE; SACKS; EASTMAN, 2006; SANTOS, 2009). Segundo os autores, o uso de uma solução BIM deve permitir a construção de modelos interoperáveis, isto é, permitir a troca e compartilhamento confiável de dados entre os diversos tipos de *software* utilizados no projeto de uma edificação.

A troca e o compartilhamento de dados devem ocorrer utilizando um formato de arquivo comum (arquivo neutro) que permita acessar os dados relevantes a partir do modelo virtual do edifício. Por exemplo, para que a compatibilização de estrutura com arquitetura seja possível, o arquivo neutro utilizado para troca de dados entre as aplicações especializadas nestas disciplinas deve permitir a manipulação dos elementos gerados por estas aplicações.

Para isso foi desenvolvido pela *buildingSMART International* (anteriormente conhecida como *International Alliance for Interoperability – IAI*) a especificação IFC (*Industry Foundation Classes*). A *buildingSMART* define o IFC como:

A especificação IFC é um formato de dados neutro para descrever, trocar e compartilhar informações tipicamente utilizadas na indústria da construção e gerenciamento de facilidades (AEC/FM) (BUILDINGSMART, 2011a, tradução nossa).

Atualmente, este padrão encontra-se na versão IFC 2X3 que já está sendo utilizado em várias ferramentas CAD-BIM. A *buildingSMART International* continua aprimorando o padrão IFC e em seu *website*² está disponível, desde Setembro/2010, a versão IFC 2X4 RC2 para avaliação.

Esta versão ainda não cobre a representação de todos os tipos de objetos da construção civil, mas o IFC está evoluindo e incorporando mais objetos a cada nova versão.

No projeto para produção de vedações verticais em alvenaria (PPVVA), por exemplo, objetos como blocos, juntas, vergas e contravergas (Figura 7, p. 36) ainda não são cobertos pelo padrão IFC (BUILDINGSMART, 2011b).

² <http://buildingmart-tech.org/specifications/ifc-releases/ifc2x4-release/summary/>

Figura 7 – Elevação de parede apresentando alguns objetos do PPVVA (FERREIRA, 2007).

Para uma viga, por exemplo, o IFC prevê um objeto chamado *ifcBeam* (Figura 8) que possui uma série de propriedades padrão como comprimento, largura, área da seção transversal, área total da superfície, etc. (IAI, 2010c).

```
#54=IFCExtrudedAreaSolid(#51,#53,#9,4999.999999999999);
#55=IFCShapeRepresentation(#27,'Body','SweptSolid',(#54));
#56=IFCProductDefinitionShape($,$,($46,#55));

#57=IFCBEM('01eY3fXz7URIRoV6UJ_2i',#33,'M_Concrete-Rectangular Beam:400 x 800mm:400 x 800mm:128256',$,'M_Concrete-Rectangular Beam:400 x 800mm:128230',#49,#56,'128256');

#58=IFCPropertySingleValue('Reference',$,IFCLABEL('M_Concrete-Rectangular Beam:400 x 800mm'),$);
#59=IFCPropertySingleValue('IsExternal',$,IFCBOOLEAN(F.),$);
#60=IFCPropertySingleValue('LoadBearing',$,IFCBOOLEAN(T.),$);
#61=IFCPropertySingleValue('Span',$,IFCPositiveLengthMeasure(4999.999999999999),$);
#62=IFCPropertySingleValue('Slope',$,IFCPlaneAngleMeasure(0.),$);
#63=IFCPropertySet('3JPyIN9Yj29BFETlRmkeor',#33,'Pset_BeamCommon',$,($58,#59,#60,#61,#62));
#64=IFCRelDefinesByProperties('2xXw8yQHcCeIJG1GOLSty',#33,$,($57),#63);
#65=IFCPropertySingleValue('Length',$,IFCLengthMeasure(4999.999999999999),$);
```

↑ Descrição de uma viga retangular de concreto em um arquivo IFC gerado no Autodesk Revit Architecture 2011.

Figura 8 - Trecho de código IFC (Viga de Concreto).

O mesmo não ocorre com bloco de concreto que, por não ter um correspondente na especificação IFC, é representado como um objeto genérico chamado *ifcBuildingElementProxy*. Esta representação é limitada, pois não prevê propriedades físicas específicas, tais como, material e resistência à compressão, isolamento térmico, entre outras, que poderiam ser associadas a este tipo de objeto durante sua criação em um CAD-BIM.

A Figura 9 (p. 37) apresenta um trecho de código de arquivo IFC, onde um bloco de concreto (módulo 14x39x19 cm) é representado. A linha #103 traz a classe de objeto genérico *ifcBuildingElementProxy*.

```
#102=IFCLOCALPLACEMENT(#38,#101);
#103=IFCBUILDINGELEMENTPROXY('0Avh925v18kfixedpwhzNO',#33,'BlocoInteiro3D:Bloco Inteiro 14:Bloco Inteiro 14:128825',$,'Bloco Inteiro 14',#102,#99,'128825',.ELEMENT.);
#104=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Level',$,IFCLABEL('Level 1'),$);
#105=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Host',$,IFCLABEL('Level : Level 1'),$);
#106=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Offset',$,IFCLENGTHMEASURE(2),$);
#107=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Moves with Nearby Elements',$,IFCBOOLEAN(.F.),$);
#108=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Phase Created',$,IFCLABEL('New Construction'),$);
#109=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('width',$,IFCLENGTHMEASURE(14),$);
#110=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Manufacturer',$,IFCLABEL('Glasser'),$);
#111=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Description',$,IFCLABEL('Bloco Inteiro de 14 cm'),$);
```

Referência a um bloco de concreto 14x39x19 cm dentro de um arquivo IFC gerado no Autodesk Revit Architecture 2011.

Figura 9 – Trecho de código de um arquivo IFC (Bloco de Concreto).

2.5. MODELAGEM GENERATIVA

A modelagem generativa consiste numa técnica de modelagem procedural que utiliza um conjunto de regras para criar modelos 3D. Por meio destas regras é possível definir algoritmos que representam, implicitamente, modelos geométricos.

Segundo Havemann (2008), a modelagem generativa define uma mudança de paradigma na descrição de formas, usando operações ao invés de objetos: a forma é descrita por uma sequência de passos, e não por uma combinação de elementos geométricos.

Diferente dos modeladores 3D convencionais, os baseados no paradigma da modelagem generativa não armazenam em seus arquivos listas de objetos. Ao invés disto, são armazenadas as listas de chamadas a funções indicando como se constrói o objeto pretendido (AISH, 2009).

A partir da definição de regras para representação de geometrias, a modelagem generativa permite automatizar o processo de construção de modelos 3D. Estas geometrias não se restringem apenas a formas complexas e difíceis de modelar com os métodos disponíveis nas ferramentas BIM atuais. Formas simples também podem ser representadas usando esta técnica de modelagem (Figura 10, p. 38).

A modelagem generativa tem sido utilizada para fins acadêmicos por meio da GML (*Generative Modeling Language*). A GML é uma linguagem utilizada para descrever as primitivas geométricas (vértices, arestas e faces) que compõem um modelo 3D (HAVEMANN, 2008).

Figura 10 - Modelos generativos (BENTLEY, 2011; PARACLOUD, 2009).

Existe uma interface integrada de desenvolvimento (IDE) para programar em GML chamada GML Studio® (disponível em: http://www.generative-modeling.org/GenerativeModeling/Software/GMLStudio2010_2011_02_11.zip). Com esta IDE é possível escrever e testar códigos GML, bem como visualizar os modelos 3D gerados por estes códigos (Figura 11).

```

1  deleteallmacros newmacro
2  applet-clear clear usereg
3  7 !n
4
5  /gold setcurrentmaterial
6  (0,0,0) (0,0,1) 2 :n circle
7  5 poly2doubleface
8  (0,1,3) extrude
9
10 /stdgrey setcurrentmaterial
11 :n 2 div {
12   dup 12 {
13     edgemate (0,0.2,3) extrude
14   } repeat
15   exch faceCCW
16 } repeat

```

Figura 11 - Exemplo de código GML (HAVEMANN, 2008).

2.6. MODULAÇÃO DE ALVENARIA

2.6.1. Elementos da modulação de alvenaria

Segundo Silva (2003, p. 96): “[...] as paredes de alvenaria são constituídas, basicamente, pelas unidades de alvenaria (tijolo ou bloco) e pelas juntas de argamassa, sendo suas características resultantes das características destes componentes e da interação entre eles, ou seja, das características de aderência do conjunto [...]”.

De acordo com Codinhoto e Ferreira (2004), uma parede é um componente do subsistema vedações (Figura 12). Ela é composta por elementos, tais como blocos, vergas, contravergas, juntas, telas etc. Esses elementos podem ser agrupados em três categorias específicas: (a) elementos básicos que correspondem aos blocos ou tijolos; (b) elementos de ligação que são as juntas horizontais e verticais, que podem ser preenchidas com argamassa ou não e (c) elementos estruturais: vergas, contravergas e telas soldadas.

Figura 12 - Hierarquia sistêmica do edifício (CODINHOTO; FERREIRA, 2004).

2.6.2. Elementos básicos

Os elementos básicos são os blocos que representam a maior parte da composição da parede. Disponíveis no mercado em materiais variados, tais como, concreto, sílcio-calcário, concreto leve, cerâmica, solo-cimento e vidro. Os blocos disponíveis no mercado são fabricados em diversos materiais e podem apresentar dimensões variadas.

Eles são reunidos em famílias de blocos. A Figura 13 e a Figura 14 apresentam exemplos de blocos que compõem a família de blocos de concreto produzido e disponibilizado por um fabricante do mercado nacional.

Figura 13 - Família de blocos inteiros de vedação (GLASSER, 2011).

Figura 14 - Família de 1/2 blocos de vedação (GLASSER, 2011).

2.6.3. Elementos de ligação

Os elementos de ligação são as juntas existentes entre os blocos e sua função é ligar os elementos básicos, bem como garantir outros requisitos de desempenho, tais como isolamento acústico e térmico, impermeabilização, etc. As juntas de argamassa podem ser classificadas de acordo com a sua orientação na modulação de alvenaria que podem ser: horizontais ou verticais.

A seguir será explicada a classificação da posição das juntas dentro da modulação:

- Juntas Horizontais: (a) assentamento é a junta posicionada na primeira fiada da modulação; (b) fixação é a junta posicionada na última fiada da modulação e (c) intermediária é a junta posicionada entre a primeira e última fiada.
- Juntas Verticais: (a) seca é a junta distribuída ao longo de toda a fiada e não possui argamassa e (b) preenchida é a junta distribuída ao longo de toda a fiada e possui argamassa.

Figura 15 - Elementos da modulação (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009).

2.6.4. Elementos estruturais

Os elementos estruturais têm a função de conferir desempenho adequado à parede nas ligações com outros subsistemas e/ou componentes, tais como portas, janelas, vigas, lajes, pilares, outras paredes, etc. Fazem parte desta categoria as vergas, as contravergas e as telas soldadas.

Segundo Mitidieri (2000): “[...] nas regiões das aberturas nas alvenarias, isto é, nas proximidades de vãos de portas e janelas, existe uma natural concentração

de tensões. As tensões de cisalhamento ou tração, induzidas nessas regiões, podem causar a fissuração da alvenaria; normalmente, as fissuras se originam nos cantos das aberturas. As vergas e contravergas têm a função de evitar a fissuração, "absorvendo" e redistribuindo os esforços na região [...].

A verga é o elemento estrutural localizado sobre o vão e a contraverga é o reforço colocado sob a abertura (Figura 16).

Figura 16 - Função das vergas e contravergas.

As telas eletrosoldadas (Figura 17, p. 43) são elementos metálicos utilizados para ancoragem de paredes em pilares da estrutura, além também de servirem como reforço em paredes de alvenaria e como elementos de ligação na amarração de paredes.

Ligação da Estrutura
com a Alvenaria

Amarração entre
Alvenarias

Figura 17– Aplicações de telas eletrosoldadas (ARCELORMITTAL, 2011)

De acordo com Medeiros e Franco (1999, p. 14): “O surgimento de fissuras e trincas em paredes de alvenaria de vedação pode ser evitado através de especificação e projeto adequados das estruturas e vedações de maneira a limitar as tensões atuantes a níveis compatíveis com as resistências das paredes e suas interfaces. O projetista pode adotar reforços metálicos para suportar as tensões atuantes nas regiões mais solicitadas ou juntas de controle permitindo que estas tensões sejam dissipadas”.

As dimensões da tela são definidas em função da espessura da alvenaria (largura dos blocos) e devem ficar embutidas na junta vertical de argamassa entre parede e pilar, com a tela dobrada para cima como mostra o detalhe da Figura 18.

Figura 18– Detalhes de instalação da tela metálica para ligação entre parede e pilar (MEDEIROS; FRANCO, 1999).

2.7. REGRAS PARA MODULAÇÃO DE ALVENARIA

A modulação de alvenaria é uma atividade complexa que envolve várias regras e diversas variáveis de projeto. Este processo é dividido em três atividades principais. São elas: modulação horizontal; amarração entre paredes e modulação vertical.

A modulação horizontal consiste na distribuição otimizada dos módulos de uma família de blocos ao longo do comprimento da parede. Este processo tem como objetivo definir as duas primeiras fiadas da modulação de alvenaria. A amarração entre paredes é uma atividade que define como as paredes serão ligadas entre si e com a estrutura.

Em ABCI (1990), podem ser vistos diversos métodos de amarração, como a amarração por tela e por intertravamento. A modulação vertical consiste na replicação da modulação horizontal no sentido da altura da parede.

Em todas estas atividades, o projetista deve atentar para a resolução de eventuais interferências entre a alvenaria e outros subsistemas. Por meio de entrevistas com projetistas de vedações (ver Anexos I à IV), foi possível coletar um conjunto de regras básicas para a execução da modulação de alvenaria que serão descritas nos próximos tópicos.

2.7.1. Modulação horizontal

- Uma fiada pode iniciar com qualquer módulo disponível na família de blocos, desde que o bloco escolhido não cause problemas na atividade posterior de amarração de paredes. Geralmente são utilizados blocos inteiros no início das 1ª fiadas e ½ blocos nas 2ª fiadas, de forma evitar o problema de juntas a prumo;
- As juntas verticais podem ser secas ou preenchidas;
- Em uma fiada é possível coexistir juntas verticais secas e preenchidas;

- Quando é definida a junta vertical seca, pelo menos as duas primeiras juntas nas extremidades da fiada devem ser preenchidas;
- A espessura das juntas verticais deve ser definida em função do desempenho esperado para parede. Em geral, os projetistas de vedação utilizam para juntas secas a variação de 0,3 cm a 0,7 cm e, para juntas preenchidas, a variação de 0,8 cm a 1,2 cm;
- Recomenda-se utilizar para o cálculo inicial de fiadas o valor médio da variação de espessura das juntas (0,5 cm – juntas secas e 1,0 cm juntas preenchidas), de forma minimizar a utilização de peças de compensação e/ou enchimentos;
- Deve-se também evitar que as juntas verticais fiquem a prumo, isto é, que as juntas verticais de duas fiadas subsequentes fiquem alinhadas;
- Se o cálculo de fiadas resultar em juntas a prumo e/ou resíduos, sendo estes menores que o menor módulo disponível na família de blocos, deve-se redistribuir este resíduo na espessura das juntas da fiada;
- Se, após a execução da regra acima, não for encontrada uma solução melhor deve-se utilizar enchimentos;
- Uma alternativa à regra anterior é a redefinição da tolerância utilizada para cada tipo de junta vertical e o recálculo da fiada.

2.7.2. Amarração de paredes

- Em uma amarração do tipo intertravamento (Figura 19, p. 46), uma parede entra na outra, alternando blocos nas extremidades das fiadas;

Figura 19 - Exemplo de amarração intertravada.

- Para a amarração com tela (Figura 20), uma parede é unida à outra parede que seja ortogonal a ela, com 1,0 cm de junta vertical. Adicionalmente são colocadas telas de ligação dimensionadas conforme a espessura da parede a cada duas fiadas a partir da 2ª fiada.

Figura 20 - Exemplo de amarração por tela.

2.7.3. Modulação vertical

- Assim como na junta vertical, a espessura das juntas horizontais deve ser definida em função do desempenho esperado para a parede. Em geral, os projetistas de vedação utilizam para juntas horizontais a

variação de 0,8 a 1,2 cm. Para juntas de assentamento e fixação (ligação com a estrutura) a variação utilizada é 2,0 a 4,0 cm;

- Recomenda-se utilizar para o cálculo inicial de modulação vertical o valor médio da variação de espessura das juntas, de forma minimizar a utilização de peças de compensação e/ou enchimentos;
- Deve-se também evitar a utilização de enchimentos nas fiadas;
- Se o cálculo de modulação vertical resultar em resíduo, sendo este menor que o menor módulo disponível na família de blocos, deve-se redistribuir este resíduo nas juntas horizontais de cada fiada;
- Se, após a execução da regra acima, não for encontrada uma solução ótima deve-se utilizar enchimentos;
- Uma alternativa à regra anterior é a redefinição da tolerância utilizada em cada tipo de junta horizontal e o recálculo da fiada.

3. METODOLOGIA

O objetivo geral desta pesquisa consiste em propor um modelo de representação para os objetos do PPVVA aplicável a qualquer CAD-BIM que tenha suporte ao conceito de famílias e ao desenvolvimento de novos comandos utilizando recursos de linguagem de programação.

Para atingir este objetivo, foi adotada a seguinte metodologia: (a) definição do problema de pesquisa; (b) revisão da literatura; (c) seleção do CAD-BIM para os experimentos; (d) levantamento dos objetos do PPVVA; (e) especificação do modelo de representação; (f) desenvolvimento do modelo de representação; (g) especificação de novas funcionalidades no CAD-BIM; (h) desenvolvimento das novas funcionalidades no CAD-BIM; (i) definição do fluxo de trabalho para a utilização do modelo de representação.

3.1. SELEÇÃO DO CAD-BIM PARA OS EXPERIMENTOS

Com o objetivo de selecionar um CAD-BIM que permitisse a implementação do modelo de representação proposto neste trabalho, efetuou-se um levantamento das principais ferramentas CAD-BIM disponíveis no mercado.

Com este levantamento foi possível identificar que poucos fabricantes de *software* disponibilizam ferramentas para atender a todas as disciplinas de projeto. A Tabela 2 apresenta uma relação das principais ferramentas CAD-BIM avaliadas pelo presente estudo e classificadas de acordo com disciplina de projeto que dão suporte.

Vale ressaltar que dentre as ferramentas CAD-BIM apresentadas nesta tabela, o *ArchiCAD*® foi testado usando uma cópia de avaliação (*trial version*) e o *Revit*® *Architecture* foi testado usando uma cópia de estudante, disponibilizada no site do fabricante³.

Tabela 2 – Principais Ferramentas CAD-BIM.

Fornecedor	Disciplinas		
	Arquitetura	Estrutura	Instalações
Autodesk Inc.	Autodesk Revit® Architecture	Autodesk Revit® Structure	Autodesk Revit® MEP
Bentley Systems	Bentley® Architecture	Bentley® Structural	Bentley® Building Mechanical System Bentley® Building Electrical System
Graphisoft	ArchiCAD®	Parceiros Graphisoft ⁴	Graphisoft MEP Modeler

³ Link da comunidade estudantil da Autodesk Inc.: <http://students.autodesk.com/>

⁴ A Graphisoft até o momento (Maio-2011) não possui especializações do ArchiCAD para projetos de estrutura como seus principais concorrentes (Autodesk e Bentley). Esta área é atendida por *plug-ins* desenvolvidos por parceiros da Graphisoft.

Para selecionar a ferramenta CAD-BIM utilizada nos experimentos desta pesquisa, os seguintes critérios foram utilizados:

- Quantidade de material de referência disponível (livros, fóruns de discussão, sites, etc.);
- Disponibilidade de suporte técnico do desenvolvedor;
- Quantidade de centros de treinamento disponíveis (desenvolvedor e revendas);
- Abrangência da aplicação (suporte às 3 disciplinas básicas de projeto);
- Boa documentação para desenvolvimento (API) e suporte a plataforma Microsoft .NET;
- Familiaridade do pesquisador com cada aplicativo.

Baseando-se nos critérios expostos acima, a ferramenta CAD-BIM escolhida foi o *Autodesk Revit® Architecture 2011*.

3.2. LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DO PPVVA

Foram realizadas entrevistas com três escritórios especializados em PPVVA, todos localizados na cidade de São Paulo (Ver Anexos II à IV). Um dos escritórios possui mais de 15 anos de experiência na execução deste tipo de projeto.

Os dados obtidos por meios das entrevistas ajudaram a delimitar os requisitos para a representação dos objetos do PPVVA, e nortearam a elaboração do modelo de representação proposto neste trabalho.

3.3. ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE REPRESENTAÇÃO

A partir dos requisitos levantados por meio das entrevistas com os especialistas em PPVVA, foi possível realizar as seguintes atividades:

- Organização das regras de modulação de alvenarias;
- Especificação dos objetos do PPVVA;
- Especificação de linguagem de descrição para modulações;
- Especificação das novas funcionalidades que serão inseridas na ferramenta CAD-BIM escolhida.

3.4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE REPRESENTAÇÃO

Após a validação das especificações, junto aos especialistas em PPVVA, o próximo passo foi desenvolver o modelo de representação proposto que incluiu as seguintes atividades principais:

- Modelagem das famílias do PPVVA;
- Criação de arquivos modelos para documentação do projeto, prevendo todas as configurações necessárias para esta atividade: estilos de linha, texto, dimensões, quantitativos, etc.;
- Desenvolvimento da linguagem de descrição de modulações;
- Desenvolvimento de novas funcionalidades na ferramenta CAD-BIM escolhida para atender algumas das atividades do PPVVA.

3.5. FLUXO DE TRABALHO DO MODELO DE REPRESENTAÇÃO

Para utilizar os novos recursos adicionados na ferramenta CAD-BIM foi definido um fluxo de trabalho para auxiliar os projetistas. Os detalhes deste fluxo de trabalho são descritos no tópico 7.7 UTILIZAÇÃO DOS NOVOS RECURSOS NO CAD-BIM.

4. REPRESENTAÇÃO DOS OBJETOS DO PPVVA

A presente pesquisa considerou duas alternativas para a representação dos elementos do PPVVA: representação explícita e representação implícita. Na primeira abordagem todos os componentes são modelados utilizando o conceito de família de objetos. Na segunda abordagem estes mesmos elementos são modelados usando técnicas de modelagem generativa. Estas técnicas consistem na utilização de um conjunto de regras para gerar geometrias 2D ou 3D. A seguir serão explicados os detalhes de cada tipo representação.

4.1. REPRESENTAÇÃO EXPLÍCITA

Para o desenvolvimento deste tipo de representação foi utilizado o conceito de famílias de objetos. Monteiro, Ferreira e Santos (2009) propõem a representação de modulações de blocos no CAD-BIM usando este conceito. Os autores exploram neste trabalho a utilização dos recursos de geração de vistas e extração de quantitativos no *Autodesk Revit® Architecture*.

A família carregável foi o tipo de família escolhida para representar explicitamente os elementos do PPVVA. Este tipo de família permite sua reutilização em vários projetos e a definição parâmetros para armazenar informações importantes.

Por exemplo, é possível criar parâmetros como “Custo Mão-de-Obra” e “Custo Execução” numa família de vergas ou contravergas moldadas in-loco e posteriormente utilizar estes parâmetros para extrair, com recursos nativos do CAD-BIM, dados de levantamento de custos a partir do modelo BIM.

Para atender aos requisitos básicos de representação de objetos do PPVVA, algumas famílias de objetos devem ser criadas, tais como: blocos, vergas, contravergas e telas soldadas. Estas famílias estão relacionadas aos elementos da modulação descritos no tópico 2.6.1. Elementos da modulação de alvenaria (pag. 39).

Dos elementos descritos neste tópico, as juntas não foram consideradas na representação por famílias. Assim como os blocos, as juntas são elementos presentes em grande quantidade na parede e sua representação explícita pode impactar negativamente no desempenho do CAD-BIM.

As juntas entre os blocos não precisam ser representadas necessariamente como uma família de objetos. Ao invés disto, elas podem ser atributos dentro dos blocos, ou simplesmente não ter representação independente no modelo BIM. Neste último caso, as juntas são representadas como espaços entre os blocos e está foi a representação adotada para as juntas nesta pesquisa.

A presente pesquisa iniciou as primeiras experiências com famílias adotando uma representação simplificada dos blocos, considerando apenas seu volume externo e ignorando as furações. Mesmo com esta representação simplificada, foi possível obter resultados importantes como a geração de quantitativos e plantas de primeira e segunda fiadas (Figura 21).

Figura 21 - Dados extraídos de uma parede (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009).

Outros resultados importantes foram obtidos durante os primeiros experimentos. A modulação de alvenaria pode assumir diversas configurações em função das necessidades específicas de compatibilização com os subsistemas (verga, contraverga, etc.) com os quais faz interface.

Nos primeiros experimentos para automatizar a distribuição de blocos, adotou-se a idéia de utilizar um *array* paramétrico para representar a modulação. *Arrays* são conjuntos de elementos que se repetem. Os *arrays* lineares são distribuídos sobre uma linha reta e os radiais/polares sobre um arco. No comando de

criação de *arrays*, o número de elementos é sempre um dos parâmetros. O outro parâmetro é o espaçamento entre os elementos ou o comprimento/ângulo total.

No caso dos *arrays* paramétricos, os elementos são sempre associados e os parâmetros podem ser editados, de forma que a movimentação de um elemento automaticamente altera o espaçamento entre os demais, mantendo-o uniforme. A alteração no número de elementos provoca sua redistribuição no comprimento total, se este for um dos parâmetros.

Apesar dos *arrays* paramétricos serem apresentados como um recurso interessante, esta solução não ofereceu tanta flexibilidade na edição das fiadas e na resolução automática das diversas possibilidades de modulação disponíveis para uma determinada família de blocos.

Durante o processo de compatibilização, o projetista de vedações necessita alterar a distribuição dos blocos. Desta forma, mesmo sendo prático, o *array* paramétrico acaba sempre sendo desfeito pelo projetista neste processo para que ele possa modificar a modulação. Estes detalhes operacionais do PPVVA acabam tornando a modulação um componente dinâmico e de difícil desenvolvimento usando um *array* paramétrico dentro de uma família.

Outra idéia explorada foi utilizar o *array* paramétrico para representar fiadas individuais, ao invés da modulação inteira da parede, com o objetivo de aumentar a flexibilidade de manutenção das fiadas.

Entretanto, não foi possível utilizar o recurso de fórmulas em famílias e o comando *array* para executar a distribuição automática de blocos, de forma simular os mesmos recursos disponíveis nas rotinas AutoLISPTM utilizadas por Ferreira (2007).

As regras contidas nestas rotinas AutoLISPTM previam a seleção de módulos de blocos e calculavam as juntas em função do comprimento e altura da parede. Verificou-se que o recurso de fórmulas da ferramenta CAD-BIM escolhida é muito rudimentar comparado ao AutoLISPTM ou outra linguagem de programação.

Considerando as limitações técnicas apresentadas pelo comando *array* e o recurso de fórmulas em famílias, a utilização destes recursos para automatizar a distribuição de blocos foi descartada. Decidiu-se então desenvolver, usando os recursos de programação da ferramenta CAD-BIM escolhida, um novo comando

para executar a tarefa de distribuição de blocos (ver tópico “7.2 GERAR MODULAÇÃO”).

4.2. REPRESENTAÇÃO IMPLÍCITA

A ferramenta CAD-BIM escolhida permite, usando os recursos padrão disponíveis, a representação implícita de alguns elementos da parede. Por exemplo, no objeto *wall* (parede) é possível representar seu revestimento e composição a partir do conceito de *layers* (camadas). Para cada camada é possível associar um material e, eventualmente, uma textura ou hachura a ser exibida nas faces laterais da parede (Figura 22).

Figura 22 - Camadas de uma parede (MONTEIRO; FERREIRA; SANTOS, 2009).

A partir de uma família de parede existente é possível criar um tipo na família para representar uma parede de blocos de concreto e, neste caso, os blocos são representados implicitamente usando uma hachura (Figura 23, p. 55).

Figura 23 - Parede com padrão de hachura - blocos de concreto.

A hachura é aplicada automaticamente nas faces laterais da parede sendo possível inclusive, controlar sua escala, orientação e posição. Na documentação da ferramenta CAD-BIM escolhida (AUTODESK, 2010b) são descritos dois tipos de hachuras:

- *Model Patterns* - Este tipo de hachura é utilizado para representar a aparência de elementos da edificação em 3D, tais como modulações de blocos/tijolos ou cerâmicas em uma parede ou piso.
- *Drafting Patterns* - É utilizada para representar materiais de forma simbólica. Por exemplo, o concreto é representado a partir de um preenchimento composto de pontos e pequenos triângulos.

A partir do recurso *Fill Patterns* (padrões de preenchimento) é possível criar novos padrões de hachura. No entanto, os controles para descrição de hachuras são muito simples, e estão limitados ao controle do espaçamento e inclinação de seus elementos.

Também é possível utilizar uma linguagem de descrição para definir novos padrões de hachura. O código gerado com esta linguagem deve ser armazenado em um arquivo texto com a extensão PAT. Este arquivo pode então ser carregado nos projetos, disponibilizando este novo padrão de hachura.

No tópico *Custom Pattern Files* da documentação da ferramenta CAD-BIM escolhida (AUTODESK, 2010b), consta a especificação formato de arquivo PAT (Tabela 3) e como utilizá-la para especializar padrões de hachura.

Tabela 3 - Especificação do formato de arquivo PAT (AUTODESK, 2010).

SEÇÕES DO ARQUIVO	DESCRIÇÃO
;%VERSION=4.0	Define a versão do arquivo PAT. Para o Revit 2011, a versão válida é a 4.0.
;%UNITS= [value]	Define a unidade de medida utilizada pelo novo padrão de hachura. No lugar do campo [value], entre, por exemplo, MM ou INCH.
*pattern-name, [optional description]	Define o nome (*pattern-name) do novo padrão de hachura e uma descrição opcional.
;%TYPE=MODEL	Define o tipo de hachura. Utilize as palavras chave MODEL ou DRAFTING.
angle, x-origin, y-origin, shift, offset, dash, space, dash, space ...	<p>Definem os descritores do novo padrão de hachura. Um conjunto de descritores é chamado de <i>line family</i>. É permitido usar vários <i>line families</i> para definir um novo padrão de hachura.</p> <p>A única restrição é a quantidade de caracteres em cada <i>line family</i> que é 4096. Cada descritor tem uma função específica no código:</p> <p>Angle: especifica a inclinação, em graus, de um conjunto de linhas em relação ao eixo X;</p> <p>X-origin, Y-origin: especificam as coordenadas da origem da hachura;</p> <p>Offset: define uma distância, não nula, entre duas linhas paralelas;</p> <p>Dash, Space: Definem o desenho de linhas no padrão. Valores positivos são os <i>dashes</i> e valores negativos são os <i>spaces</i>. Use uma combinação destes valores para desenhar as partes de uma <i>line family</i>.</p> <p>Shift: define o deslocamento de um padrão de <i>dashes/spaces</i> ao longo de cada nova linha paralela da hachura.</p>

Usando esta especificação foi possível criar um padrão de hachura (Tabela 4 e Figura 24, p. 57) para representar uma modulação de blocos de concreto, que utiliza apenas dois módulos de bloco (blocos inteiros e ½ blocos).

Tabela 4 - Padrão de hachura para modulação de bloco inteiro e 1/2 bloco.


```

;%VERSION=4.0
;%UNITS=MM
*Bloco_390x190_1, Modulacao Blocos Concreto Junta Vertical 10 mm
;%TYPE=MODEL
0, 0,10, 200,200, 390,-10
0, 0,200, 200,200, 390,-10
90, 0,10, 200,200, 190,-210
90, -10,10, 200,200, 190,-210

```

Figura 24 – Padrão de hachura para representar blocos inteiros e ½ blocos.

Usando este padrão de hachura e o recurso de fórmulas em tabelas a ferramenta CAD-BIM escolhida permitiu extrair um quantitativo de blocos (Figura 25, p. 58). Porém, este quantitativo representa apenas uma estimativa, já que não foi possível incluir nas fórmulas o tratamento de aberturas de portas e janelas nas paredes.

Outros problemas identificados com a utilização de hachuras para representar implicitamente modulações de alvenaria foram:

- As modulações de alvenaria podem ser compostas por mais de dois módulos de blocos. Há casos em que vários módulos diferentes de blocos são utilizados para resolver uma modulação. Não foi possível criar padrões de hachura para representar esta situação;
- Ao associar hachuras às camadas de uma parede, é possível configurar a hachura exibida quando a parede é visualizada em 3D e em 2D (plantas e cortes). Verificou-se que, para representar as plantas de fiadas, devem ser criados padrões de hachura específicos para cada fiada. Como nas hachuras aplicadas às faces da parede, as hachuras utilizadas em plantas apresentaram o mesmo problema de não permitir a representação de modulações complexas a exemplo daquelas explicadas no item anterior;

Figura 25 - Quantitativo de blocos a partir de um padrão de hachura.

- A utilização de padrões de hachura para representar modulações de alvenaria de vedação reais mostrou-se incompleta, pois esta abordagem não permitiu o tratamento de todos os detalhes contidos nesta representação.

Estudando os recursos de programação da ferramenta CAD-BIM escolhida, verificou-se que não é possível reproduzir o mecanismo de *Fill Patterns* para desenhar nas faces das paredes os padrões de modulação de alvenaria desejados.

Considerando as dificuldades técnicas apresentadas acima, a idéia de utilizar padrões de hachura para representar implicitamente modulações de alvenaria foi descartada.

4.3. REPRESENTAÇÃO EXPLÍCITA X IMPLÍCITA

Uma das atividades mais importantes do PPVVA é a compatibilização da alvenaria com os demais subsistemas da edificação e com outras alvenarias (amarração de paredes).

Durante esta atividade, o projetista deve resolver as eventuais interferências que surgem, fazendo os ajustes adequados nas modulações das alvenarias. Estes ajustes incluem a revisão das fiadas, alterando as dimensões das juntas e trocando os módulos de blocos utilizados.

A representação explícita dos elementos da modulação leva à diminuição do desempenho do CAD-BIM por causa da grande quantidade de elementos a serem processados.

Apesar do problema do desempenho na representação explícita, esta abordagem permite o maior controle pelo projetista de todos os elementos da modulação durante a atividade de compatibilização da alvenaria.

Por outro lado, a representação implícita pode ajudar aumentando o desempenho da ferramenta CAD-BIM e neste caso seriam usados os objetos padrão disponíveis (objeto *wall* e hachuras).

A representação implícita inicialmente apresentou-se como caminho ideal para economizar recursos de sistema e garantir desempenho. Mas, os recursos disponíveis para utilização desta abordagem nas ferramentas CAD-BIM estudadas não se mostraram adequados o suficiente para atender os requisitos de representação demandados pelo PPVVA.

A falta de padronização nas dimensões adotadas para os compartimentos da construção leva à utilização de vários módulos de bloco para resolver as modulações. A modulação utilizando apenas dois módulos de bloco (bloco inteiro e $\frac{1}{2}$ bloco) quase nunca é possível e a utilização de uma hachura contendo apenas a representação destes dois módulos não é a solução mais adequada.

Neste contexto, o caminho adotado pela presente pesquisa foi propor um misto destas duas abordagens de representação para atender aos requisitos do PPVVA.

Em particular, para a representação implícita foi proposta a criação de uma nova linguagem computacional. Uma linguagem específica para descrever modulações de alvenaria de vedação, cujos detalhes estão expostos no próximo tópico desta pesquisa.

Para a representação explícita foi adotada a utilização de famílias de objetos e para minimizar o problema de desempenho desta abordagem, adotou-se a utilização do recurso de referência a arquivos externos⁵ (MONTEIRO; SANTOS, 2009b).

Desta forma, o projetista deve interagir apenas com os elementos de interesse quando estiver resolvendo a modulação de uma parede, sem a necessidade de manipular o modelo BIM completo com todos os elementos do projeto. Dentre estes elementos podem-se citar, por exemplo: as paredes que amarram com uma determinada parede e os elementos da estrutura do edifício.

Ferreira (2007), também recomenda a utilização do conceito referência a arquivos externos em sua proposta de metodologia para desenvolver o PPVVA usando a tecnologia CAD 3D.

A idéia é armazenar a modulação de alvenaria de cada parede em arquivos independentes. Desta forma, as soluções de modulação podem ser manipuladas isoladamente e quando necessário, serem referenciadas em outros arquivos de modulação para viabilizar as atividades de compatibilização.

⁵ O conceito de referência à arquivos externos permite carregar e descarregar da memória RAM partes do desenho, obtendo com isso maior desempenho na manipulação de grandes arquivos.

5. LINGUAGEM PARA DESCRIÇÃO DE MODULAÇÕES

A presente pesquisa propõe a especificação de uma linguagem para descrição dos elementos que compõem uma modulação de alvenaria, a qual foi nomeada como MMDL (*Masonry Modulation Description Language*), ou Linguagem de Descrição para Modulação de Alvenaria.

Esta linguagem é utilizada na forma de arquivo texto que armazena, simbolicamente, as configurações de modulação de uma parede específica. Os detalhes sobre a especificação da MMDL serão descritos nas próximas seções.

5.1. REQUISITOS PARA ESPECIFICAÇÃO DA LINGUAGEM MMDL

Os requisitos utilizados para a especificação da MMDL estão relacionados aos tipos de objetos do PPVVA (ver tópico 2.6.1. Elementos da modulação de alvenaria) e as regras de modulação de alvenaria (ver tópico 2.7 - REGRAS PARA MODULAÇÃO DE ALVENARIA) que a linguagem deverá ser capaz de representar.

A MMDL deverá descrever modulações de alvenaria usando expressões armazenadas em um arquivo texto (com padrão de formatação XML). Este arquivo será associado a uma parede (objeto *wall*) no projeto de arquitetura e ao arquivo de modulação desta parede.

Os arquivos de modulação de paredes consistem em arquivos nativos da ferramenta CAD-BIM escolhida que contêm todos os elementos da modulação de uma determinada parede.

Um arquivo de modulação de parede é o resultado do processamento do comando “GERAR MODULAÇÃO” (ver p. 72) sobre um objeto parede (*wall*) do projeto de arquitetura.

Este comando processa as regras de modulação, constrói uma solução inicial de modulação usando as famílias do PPVVA e salva o resultado em um arquivo Revit (.RVT) que contém os elementos da modulação da parede processada. Este

arquivo é usado pelo projetista para editar a solução de modulação, adequando-a as necessidades específicas do projeto.

Os arquivos MMDL são compostos por cinco seções, descritas a seguir:

- Associação – utilizada para armazenar o ID (identificador) que a parede tem no projeto de arquitetura e o nome do arquivo de modulação associados ao arquivo MMDL;
- Geometria – utilizada para armazenar as dimensões da parede (comprimento, espessura e altura) associada ao arquivo MMDL. A unidade das dimensões é definida pelo atributo “Unidades” no nó <DescricaoModulacao> no início do arquivo;
- Quantitativo – utilizada para armazenar o quantitativo dos elementos da modulação da parede;
- Modulação – utilizada para armazenar as expressões MMDL associadas a cada fiada da modulação. Esta seção contém um atributo para armazenar a dimensão da junta horizontal (“JuntaHorizontal”) e uma subseção chamada <Região>, utilizada para descrever a modulação de uma parte da parede. No caso de paredes com aberturas de portas e/ou janelas várias subseções <Região> podem existir. Em cada uma destas subseções é descrita a modulação das duas primeiras fiadas. Para distribuir os blocos na região são informadas a altura e comprimento da região nos atributos “Altura” e “Comprimento”.
- Acessórios – utilizada para armazenar as expressões MMDL associadas aos elementos estruturais da modulação: telas, vergas e contravergas.

A Tabela 5 (p. 63) apresenta um exemplo de arquivo MMDL, para uma parede com amarração intertravada e uma abertura de janela (200 x 120 cm) centralizada nesta parede.

Tabela 5 – Exemplo de arquivo MMDL.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<DescricaoModulacao Unidades=cm>
<Associacao>
    <Projeto>C:\Ari\Mestrado\Revit Masonry\Referencias\Project3.rvt</Projeto>
    <IdParede>144707</IdParede>
</Associacao>
<Geometria>
    <ComprimentoParede>500.0</ComprimentoParede> <LarguraParede>14.0</LarguraParede>
    <AlturaParede>290.0</AlturaParede>
</Geometria>
<Quantitativo>
    <BlocoInteiro>212</BlocoInteiro>
    <Bloco1_2>14</Bloco1_2>
    <Bloco1_4>0</Bloco1_4>
    <Bloco1_8>0</Bloco1_8>
    <Verga>1</Verga>
    <ContraVerga>2</ContraVerga>
    <TelaSoldada>0</TelaSoldada>
    <Argamassa Unidade=m3>30.50</Argamassa>
</Quantitativo>
<Modulacao JuntaHorizontal=1.0>
    <!-- Região abaixo da abertura de janela -->
    <Regiao Altura=90>
        F1(BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,12,949.646972489861,649.132255880577,3.0);
            BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,1389.64697248986,649.132255880579,3.0);
        F2(BL(1_2 Bloco 14,19,1,1,949.646972489861,649.132255880577,23.0);
            BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,12,969.646972489861,649.132255880577,23.0);
    </Região>
    <!-- Região a esquerda da abertura de janela -->
    <Regiao Altura=120>
        F1(BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,3,949.646972489861,649.132255880577,90.0);
            BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,1389.64697248986,649.132255880579,90.0);
        F2(BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,949.646972489861,649.132255880577,110.0);
            BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,3,969.646972489861,649.132255880577,110.0);
    </Região>
    <!-- Região a direita da abertura de janela -->
    <Regiao Altura=120>
        F1(BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,3,1299.646972489861,649.132255880577,90.0);
            BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,1389.64697248986,649.132255880579,90.0);
        F2(BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,1299.646972489861,649.132255880577,110.0);
            BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,3,969.646972489861,649.132255880577,110.0);
    </Região>

```

```

</Região>
<!-- Região acima da abertura de janela-->
<Regiao Altura=80>
    F1(BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,4,949.646972489861,649.132255880577,120.0);
        BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,1389.64697248986,649.132255880579,120.0);
    F2(BL(1_2 Bloco 14,19.0,1.0,1,949.646972489861,649.132255880577,140.0);
        BL(Bloco Inteiro 14, 39.0,1.0,4,969.646972489861,649.132255880577,140.0);

</Região>
</Modulacao>
<Acessorios>
    <ContraVerga>
        CV(Contraverga 14x10x90, 14.0, 10.0, 90.0, 1099.646972489861,649.132255880577, 90.0)
        CV(Contraverga 14x10x90, 14.0, 10.0, 90.0, 1299.646972489861,649.132255880577, 90.0)
    <ContraVerga />
    <Verga> VE(Verga 14x10x250, 14.0, 10.0, 250.0, 1199.646972489861,649.132255880577, 210.0) <Verga />
    <!-- Não há descrição para telas, porque a amarração desta parede é intertravada-->
    <TelaSoldada />
</Acessorios>
</DescricaoModulacao>

```

As expressões dentro do arquivo MMDL deverão descrever os seguintes elementos da modulação: (a) Módulos de Blocos; (b) Enchimentos; (c) Vergas, (d) Contravergas e (e) Telas Soldadas. As expressões MMDL apresentadas nas Figura 26 a Figura 29, descrevem estes elementos.

Figura 26 - Expressão MMDL para sequência de blocos.

A expressão $F_n(\text{BL}(\dots); \text{BL}(\dots); \dots \text{BL}(\dots))$, denota uma fiada composta por várias sequências de blocos.

Figura 27 - Expressão MMDL para contravergas.

Figura 28 - Expressão MMDL para contravergas.

Figura 29 - Expressão MMDL para telas soldadas.

5.2. ESPECIFICAÇÃO DA LINGUAGEM MMDL

5.2.1. NOTAÇÃO EBNF

Na Ciência da Computação existem teorias que dão suporte formal para especificação de novas linguagens computacionais, tais como a teoria de linguagens formais e autômatos e computabilidade. Estas teorias são muito complexas e vão além do escopo desta pesquisa.

Para simplificar o trabalho de formalização da linguagem proposta nesta pesquisa, utilizou-se uma notação muito comum na especificação de linguagens chamada EBNF (*Extended Backus-Naur Form*). Adotou-se a EBNF por se tratar de uma notação simples e fácil de entender, considerando o fato que os interessados nos resultados desta pesquisa não são da área da Computação.

A história da criação desta notação se inicia em meados da década de 50, quando cientistas da computação começaram o projeto das primeiras linguagens de programação de alto nível e de seus compiladores. John Backus era um destes cientistas e estava focado no problema de descrever de forma precisa a sintaxe das linguagens de programação.

Baseando-se no trabalho do lógico Emil Post, Backus inventou uma notação que era simples, precisa e poderosa o bastante para descrever a sintaxe de qualquer linguagem programação.

Peter Naur popularizou o uso desta notação utilizando-a para descrever a sintaxe da linguagem de programação ALGOL. Em homenagem a estes dois cientistas a notação foi rebatizada para *Backus-Naur Form* (BNF). Mais tarde, com os aprimoramentos na notação para tornar as descrições mais compactas, ela começou ser chamada de EBNF (*Extended Backus-Naur Form*).

Uma descrição EBNF é uma lista não ordenada de regras. Cada regra EBNF tem três partes: lado esquerdo (LHS – *left-hand side*), lado direito (RHS – *right-hand side*) e símbolo $\Leftarrow$ (lê-se “é definido como”) separando os dois lados. O LHS contém uma ou mais palavras separadas por hífens e grafadas em letra minúscula, e representa o nome da regra EBNF. O RHS fornece a definição associada com esta regra e pode incluir combinações das quatro formas de controle descritas na Tabela 6.

Tabela 6 - Formas de controle de RHS em regras EBNF.

Sequência	Itens aparecem da esquerda para a direita e sua ordem é importante.
Escolha	Itens alternativos são separados por uma (barra vertical), um dos itens é escolhido a partir da lista de alternativas e sua ordem não é importante.
Opção	Um item opcional é envolvido por [] (colchetes), o item pode ser incluído ou descartado.
Repetição	Um item repetido é envolvido por { } (chaves), o item pode ser repetido zero ou mais vezes.

As regras EBNF podem incluir seis sinais com significados especiais: $\Leftarrow$, |, [,], {, e }. Com exceção destes sinais e os nomes das regras EBNF, qualquer coisa que aparecer no RHS tem seu próprio significado: letras, dígitos, pontuação, parênteses e qualquer outro caractere imprimível. A Tabela 7, p. 67, apresenta um exemplo de aplicação da notação EBNF para descrever a sintaxe de números inteiros positivos ou negativos.

Tabela 7 - EBNF para representar números inteiros positivos ou negativos.

sinal <= + -
digito-sem-zero <= 1 2 3 4 5 6 7 8 9
digito <= 0 digito-sem-zero
inteiro <= 0 [sinal]digito-sem-zero{digito}

Utilizando a notação EBNF juntamente com os requisitos da linguagem MMDL foi possível sua especificação formal. A Tabela 8, apresenta o conjunto de regras da linguagem MMDL expressas na notação EBNF.

Tabela 8 – EBNF da MMDL.

Regras	Descrição das Regras
sinal <= -	Representa o sinal de – (menos).
ponto <= .	Representa um separador de decimal.
caract <= - <espaço> _	Representa os caracteres especiais aceitos nos nomes de tipos de famílias: hífen, espaço ou sublinhado.
digito-sem-zero <= 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Representa qualquer algarismo de 1 a 9.
digito <= 0 digito-sem-zero	Representa um dígito que pode ser zero ou qualquer algarismo de 1 a 9.
inteiro <= digito-sem-zero {digito}	Representa um número inteiro iniciando, estritamente por um algarismo de 1 a 9 e, opcionalmente, um ou mais algarismos de 0 a 9.
real <= [sinal] digito {digito} ponto digito {digito}	Representa um número real, opcionalmente, iniciado por um sinal (-), seguido de um algarismo de 0 a 9, uma sequência de zero ou mais algarismos de 0 a 9, um ponto, um algarismo de 0 a 9 e uma sequência de zero ou mais algarismos de 0 a 9.
letra_mai <= A B ... X Z	Representa uma letra maiúscula.
letra_min <= a b ... x z	Representa uma letra minúscula.
tipo <= {letra_mai letra_min} [caract] {letra_mai letra_min} [caract] {[inteiro]}	Representa um tipo nas famílias de verga, contraverga, tela, bloco ou enchimento. O nome de um tipo inicia com uma sequência de letras (maiúscula/minúscula), seguida, opcionalmente, por um caractere especial (_, espaço, -), depois outra sequência de letras (maiúscula/minúscula), depois, opcionalmente, um caractere especial (_, espaço, -) e opcionalmente, uma sequência de números inteiros.

Regras	Descrição das Regras
fiada <= F {inteiro}	Representa o nome de uma fiada. É composto por uma letra F maiúscula seguida de um ou mais números inteiros.
subfiada <= BL(tipo,real,real,inteiro,real,real,real)	Representa uma sequência de blocos+juntas verticais em uma fiada. Composta da sigla BL em maiúsculo seguindo de um símbolo tipo, 5 números reais e um 1 inteiro. O símbolo tipo refere-se ao tipo da família de blocos utilizado. O primeiro real representa o comprimento do bloco. O segundo real representa a espessura da junta vertical. O número inteiro que segue a quantidade de blocos, do tipo selecionado, contidos na sequência. Os 3 últimos reais representam as coordenadas X, Y, Z do ponto de inserção do primeiro bloco da sequência.
ench <= EN(tipo, real, real, real, real)	Representa enchimento em uma fiada. Composta da sigla EN em maiúsculo seguindo de um símbolo tipo e 4 números reais. O símbolo tipo refere-se ao tipo da família de enchimentos utilizado. O primeiro real representa a espessura do enchimento e os 3 últimos números reais são as coordenadas XYZ do ponto de inserção do enchimento.
def-fia <= fiada({subfiada},[ench])	Representa a definição de uma fiada. É composta pelo símbolo fiada e entre parênteses os seguintes elementos: Um símbolo subfiada representando uma ou mais sequências de blocos. Cada sequência de blocos pode ser de um módulo diferente. Opcionalmente, no final da fiada, pode existir um enchimento.
verga <= VE(tipo, real, real, real, real, real, real)	Representa uma verga. É composto de um símbolo tipo e 6 números reais. O símbolo tipo refere-se ao tipo da família de vergas utilizado. Os 3 primeiros números reais representam espessura/altura/comprimento do elemento e os 3 últimos números reais são as coordenadas XYZ do ponto de inserção do elemento.
contraverga <= CV(tipo, real, real, real, real, real, real)	Representa uma contraverga. É composto de um símbolo tipo e 6 números reais. O símbolo tipo refere-se ao tipo da família de contravergas utilizado. Os 3 primeiros números reais representam espessura/altura/comprimento do elemento e os 3 últimos números reais são as coordenadas XYZ do ponto de inserção do elemento.

Regras	Descrição das Regras
tela <= TE(tipo, real, real, real, real)	Representa uma tela soldada. É composto de um símbolo tipo e 4 números reais. O símbolo tipo refere-se ao tipo da família de telas utilizado. O primeiro número real representa espessura do elemento e os 3 últimos números reais as coordenadas XYZ do ponto de inserção do elemento.

A partir da notação EBNF e das regras de modulação de alvenaria, mapeadas nesta pesquisa, foi construído um interpretador para as expressões da MMDL. Este interpretador é utilizado internamente pelos comandos especificados no próximo tópico desta pesquisa.

As expressões MMDL deverão ser geradas e manipuladas por estes comandos e não pelos projetistas de vedações. A idéia não é que os projetistas de vedações aprendam a programar na linguagem MMDL e sim que esta linguagem viabilize a representação implícita das modulações de alvenaria em arquivos texto que posteriormente possam ser usados para gerar a representação explícita das mesmas modulações por meio das novas funcionalidades propostas nesta pesquisa.

6. PERSONALIZAÇÃO DA FERRAMENTA CAD-BIM

Todas as principais ferramentas CAD-BIM disponíveis no mercado dispõem de recursos que permitem aos seus usuários personalizarem seus ambientes de trabalho. Esta personalização pode ser realizada em diferentes níveis que dependem da sofisticação das funcionalidades que os usuários desejam adicionar nestas ferramentas.

Pode-se citar como exemplos de personalizações a adição de novas barras de ferramentas e menus para agrupar os comandos mais utilizados e a criação de atalhos de teclado para acessar comandos. Neste caso, na maioria das ferramentas CAD-BIM esta personalização pode ser feita sem que os usuários dominem qualquer linguagem de programação.

Para personalizações mais sofisticadas, que exigem a adição de funcionalidades completamente novas, os desenvolvedores das ferramentas CAD-BIM disponibilizam um conjunto de recursos de programação chamado API (*Application Programming Interface*). As APIs consistem numa biblioteca de funções para desenvolvedores experientes em alguma linguagem de programação específica, como por exemplo, C#, C++ ou VB .NET.

A ferramenta CAD-BIM escolhida para ser personalizada a partir dos resultados desta pesquisa, dispõe de uma API compatível com a linguagem de programação C#.

A idéia de uma API é fornecer recursos para que desenvolvedores de software possam manipular os objetos de uma aplicação e acessar os recursos que normalmente os usuários têm acesso pela interface convencional da ferramenta CAD-BIM.

Esta pesquisa propõe a especificação de um conjunto 6 funcionalidades para automatizar algumas tarefas do PPVVA. Foram desenvolvidas 4 destas funcionalidades, ficando como proposta de trabalhos futuros o desenvolvimento das demais funcionalidades.

As funcionalidades desenvolvidas durante a pesquisa foram: (a) Configurar Projeto; (b) Gerar Modulação; (c) Atualizar Modulação e (d) Quantitativo de Elementos. As funcionalidades “PLANTAS DE FIADAS” e “ELEVAÇÕES DE PAREDES” foram especificadas, mas não foram desenvolvidas.

A proposta das funcionalidades “PLANTAS DE FIADAS” e “ELEVAÇÕES DE PAREDES” é gerar estes elementos usando famílias de 2D (Figura 30) correspondentes as famílias 3D utilizadas para gerar os arquivos de modulação e as descrições das modulações de cada parede contidas nos arquivos texto MMDL.

Figura 30 - Famílias 2D (planta e elevação) de uma família 3D de bloco inteiro.

No tópico seguinte serão apresentadas as especificações das funcionalidades propostas na pesquisa.

7. FERRAMENTA CAD-BIM PARA O PPVVA

Um dos objetivos específicos desta pesquisa é a desenvolvimento de novas funcionalidades em uma ferramenta CAD-BIM, a fim de suportar alguns dos processos do projeto de vedações de alvenaria. O conjunto destas funcionalidades define o corpo de um protótipo de aplicativo especializado em PPVVA.

O objetivo deste protótipo é validar a proposta de representação de objetos apresentada nesta pesquisa. As funcionalidades do protótipo são apresentadas ao projetista de vedações em uma barra de ferramentas (Figura 31). A seguir, serão descritas cada uma das funcionalidades.

Figura 31 - Barra de ferramentas do protótipo.

7.1. CONFIGURAR PROJETO

Usando uma caixa de diálogo (Figura 32 a Figura 34, p. 72 a p. 73) composta de três guias, o projetista define os parâmetros do PPVVA, os quais serão utilizados pelos outros comandos. Os parâmetros do PPVVA considerados neste comando são:

- Família de Blocos – especificação do arquivo de família utilizado para representar cada módulo de bloco (3D/2D);
- Elementos Estruturais - especificação do arquivo de família utilizado para vergas, contravergas e telas soldadas (3D/2D);
- Tipo de Junta Vertical – poderão ser selecionadas, simultaneamente, as opções junta seca e junta preenchida;
- Espessura da Junta Vertical – valores máximos e mínimos em função do tipo de junta vertical;

Figura 32 - Configuração do Projeto - Tela1

- Espessura das Juntas Horizontais - valores máximos e mínimos em função do tipo de junta horizontal;
- Enchimento - especificação do arquivo de família (2D) utilizado para representar enchimentos;
- Tipo de amarração entre paredes – com duas opções: por tela ou intertravada e especificação do arquivo de família (2D) utilizado para representar amarrações intertravadas;

- Telas Soldadas - especificação do arquivo de família (3D/2D) utilizado para representar telas soldadas.

Figura 33 - Configuração do Projeto - Tela2

Figura 34 - Configuração de Projeto - Tela3

Após o preenchimento dos dados nesta caixa de diálogo o projetista confirma o comando selecionando o botão OK e será gerado um arquivo texto (Tabela 9) com

o nome do arquivo de projeto corrente, mas com a extensão XML. Este arquivo será armazenado na mesma pasta do projeto corrente.

A função deste arquivo XML é armazenar todas as definições de projeto que serão utilizadas pelo comando “Gerar Modulação”, servindo como um arquivo de configuração do aplicativo. Para cada novo projeto deverá ser gerado um arquivo de configuração diferente, ou os demais comandos do protótipo não funcionaram para o projeto corrente.

Tabela 9 – Exemplo de arquivo de configuração de projeto.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<ConfiguracaoProjeto>
  <ParametrosModulacao>
    <JuntaVerticalSecaMax>0.70</JuntaVerticalSecaMax>
    <JuntaVerticalSecaMin>0.30</JuntaVerticalSecaMin>
    <JuntaVerticalPreenchidaMax>1.20</JuntaVerticalPreenchidaMax>
    <JuntaVerticalPreenchidaMin>0.80</JuntaVerticalPreenchidaMin>
    <JuntaHorizontalEmbasamentoMax>4.00</JuntaHorizontalEmbasamentoMax>
    <JuntaHorizontalEmbasamentoMin>2.00</JuntaHorizontalEmbasamentoMin>
    <JuntaHorizontalFixacaoMax>4.00</JuntaHorizontalFixacaoMax>
    <JuntaHorizontalFixacaoMin>2.00</JuntaHorizontalFixacaoMin>
    <AmarracaoParedelIntertravada>true</AmarracaoParedelIntertravada>
    <AmarracaoParediTela>false</AmarracaoParediTela>
    <AssentamentoFiadas1_2Bloco>true</AssentamentoFiadas1_2Bloco>
    <AssentamentoFiadas1_3Bloco>false</AssentamentoFiadas1_3Bloco>
  </ParametrosModulacao>
  <ModulosBlocos>
    <BlocoInteiro3D>C:\Temp\BlocoInteiro3D.rfa</BlocoInteiro3D>
    <BlocoInteiro2DPlanta>C:\Temp\BlocoInteiro2DPL.rfa</BlocoInteiro2DPlanta>
    <BlocoInteiro2DElevacao>C:\Temp\BlocoInteiro2DEL.rfa</BlocoInteiro2DElevacao>
    <Bloco1_23D>C:\Temp\1-2-Bloco3D.rfa</Bloco1_23D>
    <Bloco1_22DPL>C:\Temp\1-2-Bloco2DPL.rfa</Bloco1_22DPlanta>
    <Bloco1_22DEL>C:\Temp\1-2-Bloco2DEL.rfa</Bloco1_22DElevacao>
    <Bloco1_43D>C:\Temp\1-4-Bloco3D.rfa</Bloco1_43D>
    <Bloco1_42DPL>C:\Temp\1-4-Bloco2DPL.rfa</Bloco1_42DPlanta>
    <Bloco1_42DEL>C:\Temp\1-4-Bloco2DEL.rfa</Bloco1_42DElevacao>
    <Bloco1_83D>C:\Temp\1-8-Bloco3D.rfa</Bloco1_83D>
    <Bloco1_82DPL>C:\Temp\1-8-Bloco2DPL.rfa</Bloco1_82DPlanta>
    <Block1_82DEL>C:\Temp\1-8-Bloco2DEL.rfa</Block1_82DElevacao>
  </ModulosBlocos>
  <ElementosEstruturais>
```

```

<Verga3D>C:\Temp\Verga3D.rfa</ Verga3D>
<Verga2D>C:\Temp\Verga2D.rfa</Verga2D>
<ContraVerga3D>C:\Temp\ContraVerga3D.rfa</ ContraVerga3D>
< ContraVerga2D>C:\Temp\ContraVerga2D.rfa</ ContraVerga2D>
<TelaEletrosoldada3D>C:\Temp\TelaEletrosoldada3D.rfa</TelaEletrosoldada 3D>
< TelaEletrosoldada2D>C:\Temp\TelaEletrosoldada2D.rfa</TelaEletrosoldada2D>
</ElementosEstruturais>
<FamiliasSimbolicas2D>
    <Fill2D>C:\Temp\Enchimento2D.rfa</Fill2D>
    <WallMooring2D>C:\Temp\Amarração2D.rfa</WallMooring2D>
</FamiliasSimbolicas2D>
</ConfiguracaoProjeto>

```

A Figura 35 mostra a mensagem de erro que é exibida, caso o projetista tente utilizar, por exemplo, o comando “Gerar Modulação” em um projeto (arquivo Project4.rvt) que não tem um arquivo de configuração associado.

Figura 35 - Mensagem informando ausência de arquivo de configuração.

7.2. GERAR MODULAÇÃO

Ao ativar este comando a partir do arquivo de arquitetura, contendo paredes com ou sem aberturas de portas/janelas, a ferramenta CAD-BIM deverá executar as seguintes tarefas para cada parede:

- Identificar posição, espessura, comprimento e altura da parede;
- Identificar posição, espessura e altura das paredes que cruzam com a parede que está sendo processada;

- Identificar posição, largura e altura de eventuais aberturas (portas e janelas);
- Identificar as regiões (Figura 36) que serão tratadas na parede. Cada uma destas regiões define uma área da parede a ser modulada;
- Resolver cada uma das regiões utilizando as regras definidas no arquivo de configuração do projeto;
- Iniciar um novo arquivo de projeto (.RVT);
- Inserir elementos da modulação usando as famílias definidas no arquivo de configuração do projeto;
- Contar elementos da modulação (blocos, vergas, contravergas, telas soldadas e volume de argamassa das juntas);
- Escrever arquivo MMDL com a descrição da modulação. Esta descrição deverá incluir o quantitativo dos elementos da modulação da parede que foi processada;
- Salvar o novo arquivo de projeto aberto e fechá-lo antes de processar a próxima parede (este é o arquivo de modulação definido no tópico 5.1 REQUISITOS PARA ESPECIFICAÇÃO DA LINGUAGEM MMDL).

Figura 36 - Exemplos de “regiões” que podem existir numa parede.

7.3. ATUALIZAR MODULAÇÃO

Este comando deve ser usado toda vez que um arquivo de modulação for alterado pelo projetista. Garantindo desta forma, que o arquivo texto (arquivo MMDL) esteja sempre atualizado. A partir do arquivo de modulação alterado o projetista ativará o comando que deverá executar as seguintes tarefas:

- Selecionar todos os blocos, vergas, contravergas e telas soldadas;
- Identificar posição das vergas;
- Identificar posição das contravergas;
- Identificar regiões de modulação;
- Identificar posição das telas;
- Organizar blocos pela elevação (cota z) identificando as fiadas;
- Contar elementos da modulação;
- Atualizar arquivo MMDL associado.

7.4. QUANTITATIVO DE ELEMENTOS

Este comando deverá ser ativado pelo projetista a partir do arquivo de arquitetura utilizado para gerar os arquivos de modulação de cada parede. Este comando deverá executar as seguintes tarefas:

- Obter uma lista de todos os arquivos MMDL associados a cada parede do arquivo de arquitetura;
- Para cada arquivo MMDL, ler a seção “Quantitativo” e extrair o quantitativo parcial de cada parede;
- Contabilizar quantitativo total a partir dos quantitativos parciais;
- Gerar uma tabela (no formato Excel) a partir do quantitativo total.

É importante cuidado na totalização dos elementos de cada tipo para todas as paredes, de forma que elementos eventualmente pertencentes a duas paredes (telas, blocos de intertravamento, etc.), não sejam contados de forma duplicada.

7.5. PLANTAS DE FIADAS

O projetista deverá ativar uma folha antes de rodar o comando. Este comando inicialmente deverá executar as seguintes tarefas:

- Ler todos os arquivos MMDL associados aos arquivos de modulação;
- Perguntar ao projetista de qual fiada será extraída a planta;
- Iniciar uma vista do tipo *draft view* (tipo de vista na ferramenta CAD-BIM escolhida que não é associada a um modelo 3D);
- Então, para cada arquivo MMDL, executar as seguintes tarefas: (a) Criar uma folha no arquivo; (b) Ler a descrição da fiada indicada; (c) Utilizar as famílias 2D, referentes a representação em planta de cada objeto, definidas no arquivo de configuração do projeto para montar a planta da fiada indicada;
- Depois de processar todos os arquivos MMDL o comando deverá: (a) Finalizar a *draft view* e nomeá-la como Planta Fiada <número da fiada>; (b) Inserir planta gerada na folha;
- Salvar o projeto no CAD-BIM.

7.6. ELEVAÇÕES DE PAREDES

O projetista deverá ativar uma folha antes de rodar o comando. Este comando inicialmente deverá executar as seguintes tarefas:

- Ler todos os arquivos MMDL associados aos arquivos de modulação;
- Perguntar ao projetista de quais paredes ele deseja gerar elevações;

- Iniciar uma vista do tipo *draft view* (tipo de vista na ferramenta CAD-BIM escolhida que não é associada a um modelo 3D).
- Então, para cada arquivo MMDL executar as seguintes tarefas: (a) Criar uma folha no arquivo; (b) Ler a descrição da modulação da parede; (c) Utilizar as famílias 2D, referentes a representação em elevação de cada objeto, definidas no arquivo de configuração de projeto para montar a elevação; (c) Finalizar a *draft view* e nomeá-la com o mesmo nome do arquivo de modulação associado; (d) Inserir a elevação centralizada na folha;
- Salvar o projeto no CAD-BIM.

7.7. UTILIZAÇÃO DOS NOVOS RECURSOS NO CAD-BIM

O seguinte fluxo de trabalho deverá ser adotado para a utilização dos novos recursos propostos nesta pesquisa:

- O arquiteto gera o modelo BIM de arquitetura (Figura 37) e encaminha este arquivo ao projetista de vedações;

Figura 37 - Exemplo de modelo BIM de arquitetura.

- O projetista de vedações deverá identificar as paredes, usando os recursos do CAD-BIM (Figura 38). A identificação das paredes deve ser feita antes de utilizar o comando “GERAR MODULAÇÃO”;

Figura 38 - Identificação de cada parede no modelo BIM de arquitetura.

- O projetista de vedações deverá utilizar o comando “CONFIGURAR PROJETO” para definir as configurações do projeto de alvenaria (Figura 39);

Figura 39 - Comando Configurar Projeto.

- Após a configuração do projeto, o projetista de alvenaria utilizará “GERAR MODULAÇÃO” em cada parede do arquivo de arquitetura (Figura 40, p. 81);

- A partir dos arquivos de modulação (Figura 41), gerados pelo comando “GERAR MODULAÇÃO” o projetista de vedações iniciará o processo de resolução de paredes, fazendo os ajustes necessários nas soluções de modulação iniciais (Figura 42, p. 82);

Comando Gerar Modulação

Arquivos MMDL & Arquivos de Modulação

Figura 40 - Arquivos criados pelo comando Gerar Modulação.

Figura 41 - Arquivos de modulação criados pelo comando Gerar Modulação.

Figura 42 - Ajustes na solução inicial de modulação de cada parede.

- Para cada modulação de alvenaria atualizada o projetista de vedações deverá utilizar o comando “ATUALIZAR MODULAÇÃO” para consolidar as modificações nos arquivos MMDL associados a cada modulação;
- Utilizando o comando “PLANTA DE FIADAS” o projetista seguirá a com a geração da planta de 1º fiada (Figura 43);

Figura 43 - Detalhe ampliado de uma planta de 1º fiada.

- Utilizando o comando “ELEVAÇÕES DE PAREDES” o projetista seguirá a com a geração da elevação de cada parede do projeto (Figura 44, p. 83);

Figura 44 - Exemplos de elevações de paredes.

- Ao final da atividade anterior o projetista de vedações partirá para geração da documentação do projeto, inicialmente utilizando o comando “QUANTITATIVO DE ELEMENTOS” (Figura 45). A diferença deste comando do recurso de quantitativo nativo do CAD-BIM é que o novo comando proposto nesta pesquisa calcula o volume de argamassa consumido na modulação;

Project1.rvt-006\MMO1 - Bloco de notas

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<DescricaoModulacao>
  <Associacao>
    <Projeto>E:\Revit Masonry\Referencias\Project1.rvt\Pr
    <IdParede>006</IdParede>
    <ArquivoModulacaoParede>E:\Revit Masonry\Referencias\
  </Associacao>
  <Geometria>
    <ComprimentoParede>661</ComprimentoParede>
    <LarguraParede>19</LarguraParede>
    <AlturaParede>285</AlturaParede>
  </Geometria>
  <Quantities>
    <BlocoInteiro>180</BlocoInteiro>
    <Bloco1_2>90</Bloco1_2>
    <Bloco1_4>12</Bloco1_4>
    <Bloco1_8>6</Bloco1_8>
    <Verga>1</Verga>
    <ContraVerga>2</ContraVerga>
    <TelaSoldada>0</TelaSoldada>
    <Argamassa>134</Argamassa>
  </Quantities>
  <Modulacao>
    <Fiada1>F1(BL(39,1,17,19.1664935065048,15.641128032478
    <Fiada2>F2(BL(19,1,1,19.1664935065048,15.641128032478
  </Modulacao>
</DescricaoModulacao>
```

Microsoft Excel - Project1.rvt(QTD)

	A	B	C	D
	ITEM	UNID	QTD	
1				
2	BlocoInteiro	PC	1080	
3	1_2 Bloco	PC	540	
4	1_4 Bloco	PC	72	
5	1_8 Bloco	PC	36	
6	Verga	PC	6	
7	ContraVerga	PC	12	
8	Argamassa	m3	804	
9				
10				
11				
12				

Figura 45 - Resultado do comando Quantitativo de Elementos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa estudou o problema de como representar os elementos do PPVVA em ferramentas CAD-BIM, que é um problema real na utilização destas novas ferramentas no contexto do PPVVA.

Foram avaliadas duas abordagens de representação. Uma explícita baseada no conceito de famílias de objetos e a outra implícita baseada utilização de padrões de hachura e texturas. Ambas as abordagens foram avaliadas com base nos recursos disponíveis no CAD-BIM selecionado para os estudos desta pesquisa (*Autodesk Revit® Architecture 2011*).

Os resultados desta avaliação revelaram limitações no CAD-BIM para representar implicitamente modulações de alvenaria. Os recursos de representação implícita disponíveis no CAD-BIM não se mostraram adequados para satisfazer os requisitos de representação dos elementos do PPVVA.

As mesmas limitações não foram verificadas quando a representação explícita foi utilizada. Embora esta abordagem de representação demande mais recursos da aplicação, ela oferece maior flexibilidade ao projetista na manipulação direta de cada elemento da modulação de alvenaria.

Estas constatações conduziram esta pesquisa à proposição de um novo modelo de representação, baseado na utilização de famílias de objetos e técnicas de modelagem generativa. As idéias chave deste novo modelo de representação são:

- Implementação viável em qualquer CAD-BIM, desde que este tenha suporte ao conceito de famílias e ao desenvolvimento de novas funcionalidades usando uma API;
- Representação das modulações sem a necessidade de trabalhar com todos os elementos destas modulações instanciados em um único arquivo de projeto. No arquivo de arquitetura, a modulação de cada parede é uma referência externa que pode ser descarregada do arquivo para economizar recursos da aplicação;

- Armazenamento da descrição de modulação de cada parede em um arquivo texto, usando uma linguagem especificamente criada para este fim (linguagem MMDL);
- Utilização das descrições de modulação armazenadas nestes arquivos texto para obter, sem depender diretamente dos arquivos de modulação, os seguintes elementos: (a) quantitativo de elementos; (b) plantas de fiadas e (c) elevações das paredes.

A utilização deste novo modelo de representação envolve não só a criação das famílias de objetos para o PPVVA, mas também, a incorporação de 6 novas funcionalidades ao CAD-BIM.

Durante a pesquisa foram desenvolvidas 4 destas funcionalidades, ficando como proposta de trabalhos futuros o desenvolvimento das demais funcionalidades e validação destas em um projeto de alvenaria real.

Uma avaliação positiva da utilização da linguagem MMDL diz respeito ao seu potencial para quantificar objetos implicitamente representados, como por exemplo, a argamassa consumida nas juntas horizontais e verticais.

O recurso de quantitativo nativo do CAD-BIM escolhido não permite quantificar volume de argamassa sem que este elemento seja representado explicitamente. Neste sentido, a linguagem MMDL mostrou-se uma alternativa interessante para representar implicitamente os elementos do PPVVA.

Por fim, espera-se que o modelo de representação proposto neste trabalho possa servir como uma boa alternativa, para minimizar o problema de desempenho na manipulação de modelos BIM gerados por projetistas de vedações.

8.1. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Essa pesquisa trouxe algumas contribuições, a saber:

- Melhor entendimento das limitações dos CAD-BIM disponíveis no mercado, no atendimento dos requisitos de representação do PPVVA;
- A especificação de uma nova linguagem de descrição (a MMDL) especializada em modulações de alvenaria;
- A especificação de um conjunto de funcionalidades para CAD-BIM que permitem automatizar algumas atividades do PPVVA;
- A proposta de um novo modelo de representação que pode ser implementado em qualquer CAD-BIM, com suporte ao conceito de famílias e ao desenvolvimento de novos comandos usando linguagens de programação.

8.2. TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento desta pesquisa algumas questões ficaram em aberto, ficando estas como propostas de trabalhos futuros:

- Desenvolvimento das demais funcionalidades especificadas na presente pesquisa ("Plantas de Fiadas" e "Elevações de Paredes") e a validação do modelo de representação proposto, aplicando-o em projetos de alvenaria reais;
- Uma proposta de extensão do padrão IFC para contemplar os objetos do PPVVA;
- Estudo mais aprofundado dos desafios do processo de compatibilização da alvenaria com outras disciplinas, tais como estruturas e instalações prediais, objetivando a sistematização de regras para implementação de funcionalidades no CAD-BIM para tratar a compatibilização de alvenarias com outros subsistemas.

REFERÊNCIAS

ABCI. Associação Brasileira da Construção Industrializada. **Manual Técnico de Alvenaria**. 1990. Pro Editores, 1990. 276 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15873/2010: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010. 9 p.

____. NBR-10837/89: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – Procedimento (versão corrigida em 2000). Rio de Janeiro, 1989. 20 p.

AISH, R. Introduction to Generative Components – A parametric and associative design system for architecture, building engineering and digital fabrication. 2009. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISTRIBUTE INTELLIGENCE IN DESIGN – GENERATIVE COMPONENTS WORKSHOP, 1., 2009, Manchester, England. **Proceedings...** Manchester: University of Salford, 2009. 16 p. 1 CD-ROM.

ARCELORMITTAL. ArcelorMittal Aços Longos - Produtos - Construção Civil - Soluções para Alvenaria. 2011. 6 p. Disponível em: <http://www.belgo.com.br/produtos/construcao_civil/solucoes_construcao_civil/solucoes_alvenaria/pdf/solucoes_alvenaria.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2011.

AUTODESK. Building Information Modeling – The Power of BIM. 2011. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/bim>>. Acesso em: 23 fev. 2011.

AUTODESK. Autodesk Revit Architecture Services - Families Guide. 2010a. Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=13376394>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

AUTODESK. Revit Architecture 2011 User Assistance – Subscription Release: Fill Patterns. 2010b. Disponível em: <<http://docs.autodesk.com/subscription/REVIT/2011/ENU/filesUsersGuide/WS46b90c3cb2c58cad1cb25f1fc7fa49ed4-7fe8.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2010.

BENTLEY. Construction Software | Architectural Software | Building Information Modeling. 2011. Disponível em: <<http://www.bentley.com/enUS/Solutions/Buildings>>. Acesso em: 23 fev. 2011.

BENTLEY. BIM and Beyond-Generative Design: GenerativeComponents. 2010. Disponível em: <<http://www.bentley.com/en-US/Products/GenerativeComponents>>. Acessado em: 15 ago. 2010.

BUILDINGSMART. The IFC Specification — buildingSMART technical resources. 2011. Disponível em: <http://www.iai-tech.org/products/ifc_specification/index_html>. Acessado em: 23 fev. 2011.

BUILDINGSMART. IFC2x4 Release Candidate 2 available — buildingSMART technical resources. 2010. Disponível em: <<http://www.iai-tech.org/groups/msg-members/news/ifc2x4-release-candidate-2-available>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

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., 2004, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004. 10 p. 1 CD-ROM.

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

EASTMAN, C.M. **Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction**. Florida: CRC Press, 1999. 424 p.

EASTMAN, C. M. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: Wiley & Sons, 2008. 504 p.

FERREIRA, R. C. **Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações**. 2007. 160 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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, 10 p. 1 CD-ROM.

FRANCO, S. L. **Alvenaria Estrutural: Blocos, Argamassas e Grautes**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007. 14 p. Notas de aula para disciplina de pós graduação do Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC-2515 - Alvenaria Estrutural: Blocos, Argamassas e Grautes.

GLASSER. Catálogo de Blocos - Vedação. 2011. Disponível em: <http://www.glasser.com.br/prod_alv_vedacao.htm>. Acessado em: 18 fev. 2011.

GRAPHISOFT. ArchiCAD: 3D Architectural CAD Software for Architects & Designers. 2011. Disponível em: <<http://www.graphisoft.com/products/archicad>> Acesso em: 23 fev. 2011.

HALFAWY, M. R.; FROESE, T. Modeling and Implementation of Smart AEC Objects: An IFC Perspective. In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION - CIB W78 CONFERENCE, 2002, Aarhus, Denmark. **Proceedings...** Aarhus: The Aarhus School of Architecture, 2002, 8 p. Disponível em: <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2002-60.content.pdf>>. Acesso em: 06 mai. 2008.

HAVEMANN, S. GML Introduction - The Generative Modeling Language. 2008. 17 p. Disponível em: <http://www.generative-modeling.org/GenerativeModeling/Documents/GML-Introduction_Chapter5.pdf>. Acessado em: 03 abr. 2009.

HOWELL, I.; BATCHELER, B. **Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitations**. 2005. Disponível em <<http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

JACOSKI, C. A. **Integração e interoperabilidade em projetos de edificações – uma implementação com IFC/XML**. 2003. 218 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LAISERIN, J. **The LaiserinLetter - Comparing Pommes and Naranjas**. 2002. Disponível em: <<http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

____. **The LaiserinLetter - Graphisoft on BIM** 2003. Disponível em <<http://www.laiserin.com/features/issue19/feature01.php>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

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

MEDEIROS, J. S.; FRANCO, S. L. Prevenção de Trincas em Alvenarias através do Emprego de Telas Soldadas como Armadura e Ancoragem. **Boletim Técnico Escola Politécnica da USP São Paulo**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999, 77 p.

MITIDIERI, C.V. **Gostaria de saber qual a função estrutural da verga e da contraverga em aberturas para janelas; o que a sua ausência acarreta e a partir de que comprimento é necessária a sua colocação. Se possível, indicar a ferragem e o traço de concreto**. 2000. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/gostaria-de-saber-qual-a-funcao-estrutural-da-verga-e-840301.a.sp>>. Acesso em: 27 fev. 2011.

MONTEIRO, A.; FERREIRA, R.C.; SANTOS, E.T. Algumas abordagens para representação detalhada de elementos de paredes de alvenaria em ferramentas CAD-BIM. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. 4., 2009, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Clube de Engenharia. 2009, 10 p. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, A.; SANTOS, E.T. O Uso de Modelagem Generativa para Representação de Modulações de Alvenarias em Ferramentas BIM. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL – SIGRADI, 13., 2009, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009a, p. 119-121. (ISSN 2176-0519).

____. Paradigmas de Representação de Modulação de Alvenarias em Ferramentas BIM. Revista Gestão & Tecnologia de Projetos, p. 54-75, volume 4, n.2, São Paulo, 2009b (ISSN 1981-1543).

PARACLOUD. Parametric brick pattern with ParaCloud GEM 3.0. 2009. Disponível em: <<http://www.paraclouding.com/WP/>>. Acesso em: 22 ago. 2009.

PMI. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pennsylvania, USA: PMI, 2000. 216 p.

PRATES, V. **BIM Avança no Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/112/artigo190520-1.asp>>. Acesso em: 22 maio. 2011.

ROCHA, A.P. **Abrasip aponta os prós e contras do BIM em projetos de instalações**. 2011. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/abrasipapontaaspectospositivos-e-desfavoraveis-do-bim-em-projetos208522-1.asp>>. Acesso em: 16 fev. 2011.

SANTOS, E. T. . Building Information Modeling and Interoperability. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL - SIGRADI, 13., 2009, São Paulo. **Anais**. São Paulo : Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009. p. 436-438. Disponível em:<cuminca.des.scix.net/data/works/att/sigradi2009_1089.content.pdf>

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

YSESSIONS, C. I. **AECbytes : Are We Forgetting Design?** 2004. Disponível em <http://www.aecbytes.com/viewpoint/2004/issue_10.html>. Acesso em: 18 fev. 2011.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL CONSULTADA

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Metodologia de Execução - Passo a Passo para Construir Alvenarias de Blocos Vazados de Concreto. 2005. ABCP, 2005. 24 p.

FERREIRA, S. L. **Proposta de ampliação do modelo IFC com a contribuição do IES LM-63: a luminária no ciclo de vida da edificação.** 2005. 185 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HAVEMANN, S.; FELLNER, D. Generative Parametric Design of Gothic Window Tracery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, 5., 2004, Oudenaarde, Belgium. **Proceedings...** Oudenaarde: Conscience-Auditorium, Brussels and Ename Center, 2004, p. 193-201. Disponível em: <<http://www.generativemodeling.org/GenerativeModeling/Documents/windowtracery-smi0404.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12006-2:** Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification of information. Norway, 2001. 22 p.

____. **ISO 12006-3:** Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information exchange. Norway, 2007. 29 p.

RÖNNEBLAD, A.; OLOFSSON, T. Application of IFC in Design and Production of Precast Concrete Constructions. Journal of Information Technology in Construction: Special Issue IFC - Product models for the AEC arena. v. 8, p.167-180, 2003.

SCHEER, S.; AYRES, C.; AZUMA, F.; BEBER, M., CAD-BIM requirements for masonry design process of concrete blocks. In: CIB W78 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION, 25., 2008, Santiago, Chile. Anais. Santiago: Universidad de Talca-Chile, 2008. p. 40-47. Disponível em: <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2008-2-01.pdf>>.

ANEXO I – ROTEIRO DE ENTREVISTA UTILIZADO PARA OS PROJETISTAS DE VEDAÇÕES

Sobre o fluxo de trabalho do projeto de vedações verticais em alvenaria

1. Quais são as principais referências normativas, manuais técnicos e outros documentos importantes que vocês utilizam para a elaboração do projeto?
2. Vocês consideram o manual de escopo de projetos e serviços de vedações, publicado em www.manuaisdeescopo.com.br uma boa referência para os profissionais da área? Justifique.

Sobre a atividade de modulação de alvenarias

1. Quais informações são essenciais para vocês iniciarem esta atividade?
2. Como vocês executam atividade de modulação de alvenarias? Descreva, resumidamente, as fases de execução desta atividade.
3. Vocês fazem a compatibilização das alvenarias com os outros sistemas (ex.: estrutura e instalações)? Caso negativo cite alguns motivos que inviabilizam esta atividade.
4. Cite os principais desafios técnicos (ex.: evitar juntas a prumo, solucionar modulações nas regiões próximas a caixilhos, amarração de paredes) que vocês têm que enfrentar nesta atividade? Descreva, resumidamente, as soluções adotadas para cada desafio citado.
5. Que produtos (plantas, cortes, quantitativos, etc.) vocês entregam ao cliente após esta atividade ser concluída?

Sobre os recursos de tecnologia da informação utilizados

1. Relacione os recursos de tecnologia da informação (software/hardware) que vocês utilizam para auxiliar na elaboração dos projetos.
2. Vocês julgam estes recursos suficientes? Justifique.
3. Para quais partes do processo de projeto os recursos utilizados não conseguem dar suporte adequado?

ANEXO II – ENTREVISTA DO “PROJETISTA A”

Sobre o fluxo de trabalho do projeto de vedações verticais em alvenaria

1. Quais são as principais referências normativas, manuais técnicos e outros documentos importantes que vocês utilizam para a elaboração do projeto?

Resp.: Normas técnicas brasileiras para blocos, Manual Técnico de Alvenaria e orientações pessoais recebidas pelo prof. Sabbatini e em aulas do mesmo professor.

2. Vocês consideram o manual de escopo de projetos e serviços de vedações, publicado em www.manuaisdeescopo.com.br uma boa referência para os profissionais da área? Justifique.

Resp.: É uma referência importante e válida. Porém o fluxo de trabalho é sequencial, o que, em minha opinião (e apesar de participante da elaboração do mesmo), tem vários pontos que contradizem os processos colaborativos típicos do BIM.

Sobre a atividade de modulação de alvenarias

1. Quais informações são essenciais para vocês iniciarem esta atividade?

Resp.: Definição do módulo do bloco e conceituação do produto (arquitetura) e da solução estrutural.

2. Como vocês executam atividade de modulação de alvenarias? Descreva, resumidamente, as fases de execução desta atividade.

Resp.:

- I. Modulação vertical: através de seções da estrutura, estabelece-se a diretriz para alturas de vigas e espessuras de lajes.
- II. Modulação horizontal inicial: é utilizada uma pequena aplicação que distribui genericamente os blocos na primeira e segunda fiadas, considerando parâmetros de: módulo do bloco, amarração horizontal entre fiadas, junta vertical, junta horizontal e assentamento da primeira fiada.

III. Amarração entre paredes e aberturas de vãos (portas e janelas): A partir da modulação horizontal inicial e da definição a modulação vertical, é feita a amarração entre paredes e, simultaneamente, a abertura de vãos.

IV. Elevação das paredes: após a consolidação de amarrações e aberturas, são elevadas definitivamente as paredes e ajustados detalhes específicos com instalações, estrutura, vãos e interface com outros subsistemas, como forro.

3. Vocês fazem a compatibilização das alvenarias com os outros sistemas (ex.: estrutura e instalações)? Caso negativo cite alguns motivos que inviabilizam esta atividade.

Resp.: Sim.

4. Cite os principais desafios técnicos (ex.: evitar juntas a prumo, solucionar modulações nas regiões próximas a caixilhos, amarração de paredes) que vocês têm que enfrentar nesta atividade? Descreva, resumidamente, as soluções adotadas para cada desafio citado.

Resp.: Para solucionar as questões técnicas de solução da alvenaria, é utilizado o modelo em 3D que possibilita a visualização no espaço de várias interferências. Por exemplo, a solução de uma amarração entre duas paredes, pode definir o posicionamento de um ponto de elétrica ou de uma abertura. Ver esta situação em 3D é um facilitador.

5. Que produtos (plantas, cortes, quantitativos, etc.) vocês entregam ao cliente após esta atividade ser concluída?

Resp.:

- I. Planta de furações de elétrica e hidráulica na laje;
- II. Planta de primeira fiada e modulação vertical da alvenaria (galga);
- III. Elevações de cada parede e detalhes específicos, se necessários.

Sobre os recursos de tecnologia da informação utilizados

1. Relacione os recursos de tecnologia da informação (software/hardware) que vocês utilizam para auxiliar na elaboração dos projetos.

Resp.:

- I. Hardware: PC de primeira linha com a especificação indicada para o uso do 3D, de acordo com a versão de software utilizada;
- II. Software: AutoCAD 2011 e Revit 2011.

2. Vocês julgam estes recursos suficientes? Justifique.

Resp.:

Sim, considerando a forma mais otimizada de relação custo-benefício.

3. Para quais partes do processo de projeto os recursos utilizados não conseguem dar suporte adequado?

Resp: Para o que eu estou fazendo não vejo limitações para mim estou em equilíbrio entre investimento e retorno.

ANEXO III – ENTREVISTA DO “PROJETISTA B”

Sobre o fluxo de trabalho do projeto de vedações verticais em alvenaria

1. Quais são as principais referências normativas, manuais técnicos e outros documentos importantes que vocês utilizam para a elaboração do projeto?

Resp.: Usamos normas de alvenaria, revestimento e argamassa (relacionadas na tabela abaixo). Usamos também os procedimentos desenvolvidos internamente e manuais dos fabricantes dos componentes.

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	EB228	Agregados leves para concreto de elementos para alvenaria
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR10313	Revestimentos têxteis de piso - Determinação da alteração dimensional
SOLO-CIMENTO	EXECUÇÃO	NBR10833	Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica
SOLO-CIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR10834	Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural
SOLO-CIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR10835	Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Forma e dimensões
SOLO-CIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR10836	Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR10837	Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR10908	Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de caracterização

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
ARGAMASSA ARMADA	PROCEDIMENTO	NBR11173	Projeto e execução de argamassa armada
PISO	ESPECIFICAÇÃO	NBR11801	Argamassa de alta resistência mecânica para pisos
PISO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR12041	Argamassa de alta resistência mecânica para pisos - Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR12118	Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR13438	Blocos de concreto celular autoclavado
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR14899-1	Blocos de vidro para a construção civil - Parte 1: Definições, requisitos e métodos de ensaio
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13277	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13278	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13279	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13280	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR14956-1	Blocos de concreto celular autoclavado - Execução de alvenaria sem função estrutural - Parte 1: Procedimento com argamassa colante industrializada
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR14956-2	Bloco de concreto celular autoclavado - Execução de alvenaria sem função estrutural - Parte 2 : Procedimento com argamassa convencional
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13439	Blocos de concreto celular autoclavado - Verificação da resistência à compressão
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13440	Blocos de concreto celular autoclavado - Verificação da densidade de massa aparente seca
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13528	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR14974-1	Bloco sílico-calcário para alvenaria - parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR14974-2	Bloco sílico-calcário para alvenaria - Parte 2: Procedimento para execução de alvenaria

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR15270-1	Componentes cerâmicos - Parte 1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR15270-2	Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR5718	Alvenaria modular
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR6136	Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR7170	Tijolo maciço cerâmico para alvenaria
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14082	Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14083	Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Determinação do tempo em aberto
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14084	Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Determinação da resistência de aderência à tração
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14085	Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Determinação do deslizamento

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14086	Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Determinação da densidade de massa aparente
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14321	Paredes de alvenaria estrutural - Determinação da resistência ao cisalhamento
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14322	Paredes de alvenaria estrutural - Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR14399	Cal hidratada para argamassas - Determinação da água da pasta de consistência normal
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR7194	Cálculo e execução de chaminés industriais em alvenaria e em concreto armado
ALVENARIA	ESPECIFICAÇÃO	NBR8041	Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Forma e dimensões
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR8545	Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR12260	Execução de piso com argamassa de alta resistência mecânica
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR13276	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR13281	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR13529	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR13530	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR15258	Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR15259	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR15261	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR13749	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR13753	Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR15270-3	Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Método de ensaio

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR15630	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR13754	Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR13755	Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR6460	Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR14081	Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR14851-2	Revestimentos de pisos - Mantas (rolos) e placas de linóleo - Parte 2: Procedimentos para aplicação e manutenção
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR7184	Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR14917-2	Revestimentos de pisos - Manta (rolo) vinílica flexível heterogênea em PVC - Parte 2: Procedimentos para aplicação e manutenção

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR14992	A. R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR7175	Cal hidratada para argamassas - Requisitos
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR7215	Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR7222	Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR7193	Execução de pavimentos de alvenaria poliédrica
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR7200	Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR8215	Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR8490	Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural - Retração por secagem
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR8492	Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água
REVESTIMENTO	PROCEDIMENTO	NBR8214	Assentamento de azulejos
ALVENARIA	PROCEDIMENTO	NBR8798	Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
ALVENARIA	MÉTODO DE ENSAIO	NBR8949	Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9205	Cal hidratada para argamassas - Determinação da estabilidade
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9206	Cal hidratada para argamassas - Determinação da plasticidade
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9207	Cal hidratada para argamassas - Determinação da capacidade de incorporação de areia no plastômetro de Voss
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9289	Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9290	Cal hidratada para argamassas - Determinação de retenção de água
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9479	Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9778	Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBR9779	Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBR9935	Agregados - Terminologia

ASSUNTO	TIPO	NÚMERO	TÍTULO
REVESTIMENTO	ESPECIFICAÇÃO	NBRNM137	Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland
REVESTIMENTO	MÉTODO DE ENSAIO	NBRNM34	Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de uniformidade
CONCRETO	MÉTODO DE ENSAIO	NBRNM77	Concreto - Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaios de compressão
CONCRETO	MÉTODO DE ENSAIO	NBRNM9	Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração

2. Vocês consideram o manual de escopo de projetos e serviços de vedações, publicado em www.manuaisdeescopo.com.br uma boa referência para os profissionais da área? Justifique.

Resp.: Sim. Como existe uma grande carência em relação ao projeto de vedações, o manual serve como um balizador de referências. Mas carece de uma melhor estratégia de divulgação e aplicação no setor.

Sobre a atividade de modulação de alvenarias

1. Quais informações são essenciais para vocês iniciarem esta atividade?

Resp.:

- I. Como é a cultura construtiva do cliente em relação a execução da estrutura, alvenaria, instalações e revestimentos. Que nível de tecnologia é utilizado na execução dos serviços;
- II. Qual a margem de mudanças aceitável pelo cliente;
- III. Como será a dinâmica do desenvolvimento dos projetos.

2. Como vocês executam atividade de modulação de alvenarias? Descreva, resumidamente, as fases de execução desta atividade.

Resp.:

- I. Em primeiro lugar necessário a definição do bloco, das juntas de assentamento;
- II. A distribuição é realizada com base na arquitetura e estrutura compatibilizadas, obedecendo a critérios de utilização mínima de compensadores, da amarração definida pelo cliente e as possibilidades de intervenção na estrutura para ajuste;
- III. A primeira e segunda fiada são lançadas juntas para evitar retrabalho. Sempre interessante partir das menores para as maiores paredes;
- IV. Depois de lançadas as primeiras e segundas fiadas, uma LISP realiza as elevações. Neste momento pode ser necessário algum ajuste em relação as amarrações entre fiadas por introdução dos vãos.

3. Vocês fazem a compatibilização das alvenarias com os outros sistemas (ex.: estrutura e instalações)? Caso negativo cite alguns motivos que inviabilizam esta atividade.

Resp.: Sim. Compatibilizamos a arquitetura x estrutura x instalações x folder x memorial descritivo x Cultura construtiva.

4. Cite os principais desafios técnicos (ex.: evitar juntas a prumo, solucionar modulações nas regiões próximas a caixilhos, amarração de paredes) que vocês têm que enfrentar nesta atividade? Descreva, resumidamente, as soluções adotadas para cada desafio citado.

Resp.: O principal desafio técnico não é do projeto de vedação em si (distribuição dos blocos), mas de fazer a ligação do projeto com a cultura construtiva de cada empresa e dele com as informações dos demais projetistas.

5. Que produtos (plantas, cortes, quantitativos, etc.) vocês entregam ao cliente após esta atividade ser concluída?

Resp.:

Projeto básico de vedações. (varia muito de cliente a cliente):

- I. Planta de 1ª. Fiada,
- II. Planta de 2ª. Fiada
- III. Planta de furação elétrica
- IV. Planta de furação hidráulica (nesta estão incluídas as furações de ar condicionado);
- V. Caderno de elevações;
- VI. Caderno de detalhes – quantitativos, detalhes de execução, pré-moldados.

Sobre os recursos de tecnologia da informação utilizados

1. Relacione os recursos de tecnologia da informação (software/hardware) que vocês utilizam para auxiliar na elaboração dos projetos.

Resp.:

Nossos computadores são da linha Optiplex da Dell com as seguintes configurações:

- I. Processador Intel Core 2 Duo E7500 2.93GHz 3M L2 Cache 1066MHz;
- II. Placa de Vídeo Integrada , Intel GMA 4500;
- III. Memória RAM de 4GB.

2. Vocês julgam estes recursos suficientes? Justifique.

Resp.: Para os projetos desenvolvidos tradicionalmente, sim.

3. Para quais partes do processo de projeto os recursos utilizados não conseguem dar suporte adequado?

Resp.: A principal parte do processo que não nos atende é a formação universitária atual. Os recursos de hardware/software para nós são adequados.

ANEXO IV – ENTREVISTA DO “PROJETISTA C”

Sobre o fluxo de trabalho do projeto de vedações verticais em alvenaria

1. Quais são as principais referências normativas, manuais técnicos e outros documentos importantes que vocês utilizam para a elaboração do projeto?

Resp.: Norma de alvenaria, norma de desempenho, manuais técnicos de fabricantes de alvenaria e também dos subsistemas que envolvem a alvenaria, documentos de impermeabilização, normas de blocos, normas de esquadrias, guarda corpos, manuais de fabricantes de esquadrias, louças sanitárias, cerâmicas, porcelanatos, etc.

2. Vocês consideram o manual de escopo de projetos e serviços de vedações, publicado em www.manuaisdeescopo.com.br uma boa referência para os profissionais da área? Justifique.

Resp.: Não utilizamos este manual de escopo em nosso trabalho. O nosso trabalho é customizado de acordo com as necessidades do cliente.

Sobre a atividade de modulação de alvenarias

1. Quais informações são essenciais para vocês iniciarem esta atividade?

Resp.:

- I. Pré-forma do pavimento tipo;
- II. Pré-executivo de arquitetura;
- III. Tipologia do bloco a ser utilizado.

2. Como vocês executam atividade de modulação de alvenarias? Descreva, resumidamente, as fases de execução desta atividade.

Resp.:

- I. Modulação horizontal compatibilizando com os pilares;
- II. Modulação vertical compatibilizando com as vigas e lajes;
- III. 1º. Fase de estudo: compatibilização com todos os subsistemas que envolvem a alvenaria (pré-executivo);

IV. Fase executiva: desenvolvimento da documentação do projeto que vai para a obra.

3. Vocês fazem a compatibilização das alvenarias com os outros sistemas (ex.: estrutura e instalações)? Caso negativo cite alguns motivos que inviabilizam esta atividade.

Resp.: Sim fazemos com todos os subsistemas que fazem parte do pavimento tipo em questão (arquitetura/instalações/decoração/aspiração central/acústica/ e tantos outros que houver).

4. Cite os principais desafios técnicos (ex.: evitar juntas a prumo, solucionar modulações nas regiões próximas a caixilhos, amarração de paredes) que vocês têm que enfrentar nesta atividade? Descreva, resumidamente, as soluções adotadas para cada desafio citado.

Resp.: Soluções técnicas baseadas em normas de desempenho de alvenarias ou em experiência de obra. Além destas citadas, também necessidade de preenchimento de paredes, necessidade de telas (internas ou externas).

5. Que produtos (plantas, cortes, quantitativos, etc.) vocês entregam ao cliente após esta atividade ser concluída?

Resp.:

- I. Plantas de passagens de instalações;
- II. Planta de marcação da 1ª fiada;
- III. Elevações das paredes;
- IV. Detalhes;
- V. Memorial descritivo.

Sobre os recursos de tecnologia da informação utilizados

1. Relacione os recursos de tecnologia da informação (software/hardware) que vocês utilizam para auxiliar na elaboração dos projetos.

Resp.: AutoCAD 2011 e Revit 2011 com hardware compatível, recomendado pela Autodesk.

2. Vocês julgam estes recursos suficientes? Justifique.

Resp.: São ferramentas. O principal recurso é o conhecimento técnico e sua aplicabilidade, além do treinamento dos profissionais.

3. Para quais partes do processo de projeto os recursos utilizados não conseguem dar suporte adequado?

Resp.: O Revit ainda não consegue dar o resultado esperado nas plantas de marcação de furação e alvenarias, por não conseguirmos trazer a rotina AutoLISP que existia no AutoCAD para o Revit. Item que está em estudo com a Autodesk.