

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURA E  
CONSTRUÇÃO CIVIL

NELIZA MARIA E SILVA ROMCY

PROPOSTA DE TRADUÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA COORDENAÇÃO MODULAR EM  
PARÂMETROS APLICÁVEIS AO BUILDING INFORMATION MODELING.

FORTALEZA  
2012

NELIZA MARIA E SILVA ROMCY

PROPOSTA DE TRADUÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA COORDENAÇÃO MODULAR EM  
PARÂMETROS APLICÁVEIS AO BUILDING INFORMATION MODELING.

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração:  
Construção Civil

Orientador:  
Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini

Coorientador:  
Prof. Dr. Daniel Ribeiro Cardoso

FORTALEZA  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca do Curso de Arquitetura

- 
- R679p Romcy, Neliza Maria e Silva  
Proposta de tradução dos princípios da coordenação modular em parâmetros aplicáveis ao building information modeling/ Neliza Maria e Silva Romcy. – 2012.  
181f. : enc. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2012.
- Área de Concentração: Construção Civil  
Orientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.  
Co- orientação: Prof. Dr. Daniel Cardoso Ribeiro  
1. – Coordenação modular. 2. Construção civil. 3. Racionalização do trabalho. 4. Alvenaria. I.  
Título.

NELIZA MARIA E SILVA ROMCY

PROPOSTA DE TRADUÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA COORDENAÇÃO MODULAR EM  
PARÂMETROS APLICÁVEIS AO BUILDING INFORMATION MODELING.

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Construção Civil.

Aprovada em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Alexandre Araújo Bertini, Dr. (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Daniel Ribeiro Cardoso, Dr. (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. José de Paula Barros Neto, Dr.  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof<sup>a</sup>. Regina Coeli Ruschel, Dr<sup>a</sup>.  
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Aos meus queridos pais, Neil Romcy e Odete Romcy,  
ao meu lado sempre.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Aos meus queridos pais, pelo exemplo, amor e apoio incondicional, sem os quais eu não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador prof. Bertini, pela orientação e acompanhamento, com a contribuição de conhecimentos na área da Engenharia Civil, antes novos para mim.

Ao meu coorientador prof. Daniel Cardoso, pela orientação e imensa dedicação ao presente trabalho, com a contribuição de novos olhares na área da Arquitetura e enriquecimento da minha formação como profissional.

Ao André Paes, por seu acompanhamento e contribuição com conhecimentos na área da computação, sem os quais não teria sido possível a realização completa do desafio apresentado pela presente pesquisa.

Ao arquiteto Luciano Guimarães, responsável pelo escritório Guimarães Arquitetura e Urbanismo (GAU), por disponibilizar o projeto de reassentamento do Rio Maranguapinho e enriquecer a presente pesquisa com suas considerações, juntamente à amiga e arquiteta Milena Bizerra, parte integrante de sua equipe.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da UFC, em especial aos professores Barros Neto e Renato Pequeno, pelas contribuições ao longo do curso, também fundamentais para a pesquisa e minha formação profissional.

À professora Rossana pelas críticas e sugestões em ocasião do exame de qualificação.

À professora Regina Ruschel pelas ricas considerações e sugestões em ocasião do exame de defesa.

Aos meus queridos amigos da turma PEC 2010: Paula Sombra, Kelvya Moreira, Mayra Soares, Márcio Monteiro, Lidyci Thatielle e Anna Cristina, pelo companheirismo e apoio, tornando o que deveria ser apenas uma jornada árdua em um caminho de conhecimento e ótimos momentos! Desejo-lhes todo sucesso, pois são merecedores! Um agradecimento adicional à Mayra e ao Márcio pela contribuição direta, com suas considerações junto ao projeto do MEHIS.

Aos colegas das outras turmas pelo companheirismo e colaboração, em especial aos amigos veteranos Reymard Savio e Mariana Lima, cujos conselhos sempre me foram de grande ajuda.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da UFC, em especial aos amigos Haroldo Lopes e Williane Ferreira (Lili) que sempre nos ajudaram prontamente e com um sorriso no rosto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro através da concessão da minha bolsa de mestrado.

## RESUMO

ROMCY, N. M. S. **Proposta de tradução dos princípios da coordenação modular em parâmetros aplicáveis ao Building Information Modeling**. 2012, 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

No atual cenário da construção civil, apresentam-se como desafio o atendimento da demanda por habitações e a superação das características do setor que o tornam ineficiente em relação à produtividade e confiabilidade dos produtos. Diante dessa problemática, encontram-se como alternativas o resgate dos conceitos da Coordenação Modular e a implementação do *Building Information Modeling* (BIM). A escolha dos temas parte da percepção de que ambos atuam em objetivos comuns no que diz respeito à integração e otimização de informações, racionalizando os processos projetuais e construtivos, enquanto permitem uma flexibilidade de combinação de elementos, facilitando a geração de novas soluções. A partir de levantamento bibliográfico, confirmou-se a existência de lacunas de conhecimento, principalmente no que diz respeito à integração dos assuntos abordados. Assim, o trabalho visa investigar o potencial de associação entre BIM e Coordenação Modular, através do desenvolvimento de uma aplicação para fins demonstrativos, além do registro da sua metodologia. Trata-se da interposição de duas temáticas com arcabouço teórico consolidado para a geração de novos conhecimentos (metodologia) e um produto final que garanta sua aplicabilidade: um *plug-in*. O trabalho foi dividido em três etapas: Compreensão, Desenvolvimento e Validação. A Compreensão incluiu a descoberta do problema inicial, considerando sua relevância prática e teórica; e um primeiro estudo dos principais temas envolvidos. O Desenvolvimento consistiu na investigação de uma metodologia para a tradução dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis ao BIM, visando à representação de um primeiro sistema construtivo: a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos. A Validação incluiu a programação do *plug-in* com os parâmetros gerados na etapa anterior; sua aplicação em situação real e a aplicação da metodologia desenvolvida em um segundo sistema construtivo (*light steel framing*). Os resultados incluem a criação da versão inicial de um *plug-in*, com a função de gerar automaticamente as paginações de blocos cerâmicos para a alvenaria racionalizada; a proposição de uma metodologia para o reconhecimento de regras de construção para objetos modulados, no caso, sistemas construtivos; e a verificação que BIM e Coordenação Modular utilizados em conjunto podem potencializar aspectos já positivos de cada uma separadamente. A referência dimensional única da Coordenação Modular facilita o processo de criação de

parâmetros para a alimentação do sistema BIM, possibilitando a geração de novas funções, além da melhoria na comunicação entre profissionais de especialidades diferentes. Por outro lado, o BIM disponibiliza ferramentas associadas a novos conceitos que permitem um ambiente virtual integrado, uma melhor visualização de informações e automatização de funções, onde os princípios da Coordenação Modular podem ser aplicados e compreendidos.

**Palavras-chave:** *Building Information Modeling*. Coordenação Modular. Customização de *software*. Alvenaria Racionalizada.

## ABSTRACT

ROMCY, N. M. S. **Study for the translation of the Modular Coordination principles for the Building Information Modeling parameters.** 2012, 181 f. Dissertation (Master's degree in Civil Engeneering). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Due to changes occurring in the Civil Construction scenario, it is important to emphasize the challenge to achieve the growing demand for housing and overcome deficiencies of the sector related to productivity and the reliability of the products, from design to construction. In this context, Modular Coordination and Building Information Modeling (BIM) emerge as potential strategies to improve communication and integration among the different professionals involved in the project, as rationalizes the processes and allows a flexible combination of elements, which facilitates the generation of new solutions. The literature review confirmed the existence of knowledge gaps, particularly concerning to the integration of both subjects. Thus, this study presents the customization of a BIM tool, according to Modular Coordination rules, in order to investigate possibilities of association between them. As a result, is proposed a methodology for translating the Modular Coordination rules in parameters that feed into a BIM application, developed over the creation of a *plug-in*. The study is divided into three stages: understanding, development and validation. The understanding stage included the discovery of the research problem, considering its practical and theoretical relevancies, and a first study about the major issues, in order to obtain the knowledge to begin the investigation. It also included the selection of the object to be represented through the *plug-in* application and the programming strategy for the customization of the tool. The development consists of an exploratory study that starts the proposed construction (plug-in) and generates the parameters to represent an object, previously chosen: rationalized ceramic blocks masonry. Finally, the validation includes programming an initial version of the plug-in with the parameters generated in the previous step, its application in a real situation and the methodology application in a second constructive system (light steel framing). The results include creating an early version of a plug-in, with the function to automatically generate layouts of ceramic blocks for rationalized masonry; proposing a methodology for the recognition of rules of construction for modulated objects, in this case, constructive systems; and verifying that BIM and Modular Coordination used together may enhance their positive individual aspects. The dimensional reference of Modular Coordination facilitates the process of creating parameters for BIM applications, which facilitates the generation

of new functions, in addition to improving communication between professionals of different specialties. Furthermore, BIM has features related to new concepts that enhance the visualization of information, automates functions and allow an integrated virtual environment, where the principles of modular coordination may be better used and understood.

**Key-words:** Building Information Modeling. Modular Coordination. Software customization. Rationalized Masonry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais elementos envolvidos na estratégia da pesquisa construtiva	32
Figura 2	Principais elementos da pesquisa, estabelecendo um comparativo	32
Figura 3	Esquemática da estratégia proposta para a programação e customização do aplicativo BIM	37
Figura 4	Resumo esquemático do delineamento da pesquisa	41
Figura 5	Representação dos elementos gráficos que integram um modelo BIM	45
Figura 6	Representação esquemática dos elementos que compõem o sistema de dados integrado do modelo BIM, a partir de um banco de dados único	46
Figura 7	Representação esquemática de como o modelo BIM pode ser utilizado nas diversas etapas do ciclo de vida da edificação	48
Figura 8	Imagem renderizada do modelo virtual do novo SMCCV	52
Figura 9	Quadriculado modular de referência espacial	60
Figura 10	Medida modular, medida de projeto, junta modular e ajuste modular	61
Figura 11	Exemplos de intercambialidade entre componentes construtivos em sistemas modulados	63
Figura 12	Objetivos comuns entre BIM e Coordenação Modular e influências positivas na AEC	68
Figura 13	Resumo do desafio apresentado na presente pesquisa: compreender e reproduzir um mesmo objeto em três instâncias diferentes: real, virtual e computacional	69
Figura 14	Esquema da investigação proposta na presente pesquisa	72
Figura 15	Desenho esquemático de uma residência em alvenaria estrutural, com destaque para os blocos diferenciados	76
Figura 16	Amarração “em meio bloco” e a disposição do encontro em “L”	77
Figura 17	Amarração “de terço” e as disposições dos encontros em “T”, “X” e “L”, respectivamente	77
Figura 18	Perspectiva dos blocos básicos da família MEHIS, com destaque para o sistema de encaixe removível	79
Figura 19	Desenho esquemático de uma residência em <i>Light Steel Framing</i>	81
Figura 20	Seção transversal dos principais perfis utilizados em painéis de LSF: perfil U (a) e perfil Ue (b)	82

Figura 21	Comparação entre as opções amarração de “meio bloco” e amarração de “terço”, com destaque para os componentes e relações	86
Figura 22	Desenho em planta dos blocos básicos da família MEHIS, com suas principais dimensões, incluindo o sistema de encaixe. Vale salientar que 9 cm consiste em sua dimensão sem reboco	87
Figura 23	Configurações pré-definidas dos blocos cerâmicos para a alvenaria isolada dos tipos R1, R2 e R3, consecutivamente	90
Figura 24	Exemplo de encontro em L, onde é possível observar que uma das alvenarias tem continuidade, enquanto a outra é interrompida. Na fiada seguinte, a situação se inverte, garantindo o desencontro das juntas	92
Figura 25	Utilização de blocos coloridos em madeira para facilitar a visualização e comunicação entre os diferentes membros da equipe	92
Figura 26	Configurações pré-definidas dos blocos cerâmicos para os encontros em L, a partir da alvenaria isolada dos tipos R1, R2 e R3, consecutivamente	93
Figura 27	Exemplo de encontro em T, onde é possível observar as configurações de primeira e segunda fiadas, consecutivamente. O detalhe destaca como ocorre a justaposição de blocos nas fiadas ímpares – sempre no terço central do bloco que recebe o encontro	94
Figura 28	Configurações pré-definidas dos blocos cerâmicos para os encontros em T, a partir da alvenaria isolada dos tipos R1, R2 e R3, consecutivamente	95
Figura 29	Exemplo de encontro em X, onde é possível observar as configurações de primeira e segunda fiadas, consecutivamente. O detalhe destaca como ocorre a justaposição de blocos – sempre no terço central	96
Figura 30	Problema encontrado no projeto A em função dos encontros em T terem sido locados após os encontros em L. As paredes originais (tracejado) precisaram ser deslocadas para que os blocos se encontrassem conforme as regras do encontro T, como mostra o detalhe	98
Figura 31	Área de trabalho para criação e edição de um objeto GDL, com a janela de “Parâmetros” selecionada, permitindo observar que variáveis foram inclusas para o Bloco 3M, de comprimento 30 cm	101
Figura 32	Janela de trabalho “Texto GDL”, utilizada para a inclusão dos códigos GDL, referentes à geometria do objeto Bloco 3M (30 cm)	101

Figura 33	Representação do objeto paramétrico referente ao Bloco 3M (30 cm) em planta (a) e sua pré-visualização (b)	102
Figura 34	Disposição padrão adotada e suas respectivas variáveis, a serem substituídas por valores referentes a dimensões de resto R1, R2 e R3	104
Figura 35	Exemplo de segmento de alvenaria delimitado por dois encontros em T, classificado como TTR1	106
Figura 36	Exemplo de encontro, onde foi necessário o deslocamento do bloco complementar da segunda fiada para evitar o problema de junta a prumo	107
Figura 37	Todas as combinações de encontros, levantadas para a geração da tabela de configurações	107
Figura 38	Comparação do procedimento realizado com o desenho 2D e com o desenho GDL, após revisão	109
Figura 39	Locação dos blocos principais e determinação dos vãos para o projeto A	111
Figura 40	Classificação dos segmentos e distribuição dos blocos cerâmicos para a primeira fiada	111
Figura 41	Exemplo de objeto parede desenhado no método de construção “esquerda” (selecionado). Em destaque, é possível observar a presença da linha de referência, que indica a direção e sentido de sua construção	113
Figura 42	Esquema ilustrativo dos casos de relações entre os objetos parede	113
Figura 43	Comparação do procedimento revisado para o desenho GDL e o programado para ser realizado automaticamente pelo <i>plug-in</i>	116
Figura 44	Exemplo de como são representados encontros em Lc e Li: à esquerda no ambiente de trabalho original do ArchiCAD e à direita o que se pretende com a aplicação do <i>plug-in</i>	117
Figura 45	Exemplo de como é representado um encontro em T: à esquerda no ambiente de trabalho original do ArchiCAD e à direita o que se pretende com a aplicação do <i>plug-in</i> .	118
Figura 46	Nova ferramenta “Alvenaria” criada pelo <i>plug-in</i> no menu original do software ArchiCAD	120
Figura 47	Solução adotada para a disposição das paredes do projeto A, com o arranjo correto entre as linhas de referência para posterior aplicação do <i>plug-in</i>	121

Figura 48	Detalhe da representação em planta do modelo gerado inicialmente pelo <i>plug-in</i> , sendo possível observar a sobreposição entre os blocos de fiadas pares e ímpares	122
Figura 49	Resumo esquemático do passo-a-passo estabelecido para a metodologia de tradução revisada	129
Figura 50	Decomposição do sistema LSF	130
Figura 51	Solução em LSF, adotada para encontros em L	131
Figura 52	Solução em LSF, adotada para encontros em T (a) e em X (b)	131
Figura 53	Seção do perfil Ue selecionado para a presente pesquisa, com suas principais dimensões representadas em metro	134
Figura 54	Estudo da modulação dos perfis para uma parede isolada em LSF, apresentada em metros	135
Figura 55	Aplicação da modulação do sistema LSF no projeto A, apresentada em centímetros	136
Figura 56	Classificação das configurações para os diferentes tipos de vão	137
Figura 57	Configurações adotadas para os perfis para cada tipo de encontro L, T e X	137
Figura 58	Sobreposição entre a configuração dos perfis de vão e a configuração do encontro em L	138
Figura 59	Sobreposição entre a configuração dos perfis de vão e a configuração do encontro em T	138
Figura 60	Sobreposição entre a configuração dos perfis de vão e a configuração do encontro em X	139

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1	Esquema da investigação proposta na presente pesquisa	35
Quadro 2	Resumo dos componentes e relações definidos para a alvenaria em blocos cerâmicos	87
Quadro 3	Equação 01, onde é possível estabelecer a decomposição da altura da alvenaria	88
Quadro 4	Equação 02, onde é possível estabelecer a decomposição da espessura da alvenaria	89
Quadro 5	Equações 03 e 04, onde é possível estabelecer a decomposição do comprimento da alvenaria	89
Quadro 6	Lista das combinações levantadas para a investigação de combinações possíveis entre encontros em Li, Lc e T	105
Quadro 7	Transcrição de trechos sobre dúvidas em relação ao <i>plug-in</i>	125
Quadro 8	Transcrição de trechos sobre sugestões em relação ao <i>plug-in</i> e a trabalhos futuros	126
Quadro 9	Transcrição de trechos sobre a importância do trabalho	127
Quadro 10	Equação 01, onde é possível estabelecer a decomposição da espessura da parede	131
Quadro 11	Equação 02, onde é possível estabelecer a decomposição da altura da parede	132
Quadro 12	Equação 03, onde é possível estabelecer a decomposição do comprimento da parede	132
Quadro 13	Equação 03-b, onde é possível estabelecer a decomposição do comprimento da parede, com a inclusão das medidas complementares	134

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção
- AIA – *American Institute of Architects*
- API – *Application Programming Interface*
- BIM – *Building Information Modeling*
- BNH – Banco Nacional da Habitação
- CAD – *Computer Aided Design*
- CETI – *Celebration of Engineering & Technology Innovation*
- CUMINCAD – *Cumulative Index of Computer Aided Architectural Design*
- GDL – *Geometrical Description Language*
- HIS – Habitação de Interesse Social
- IDM – *Information Delivery Manual*
- IFC – *Industry Foundation Classes*
- IFD – *International Framework for Dictionaries*
- IPD – *Integrated Project Delivery*
- ISO – *International Organization for Standardization*
- FIATECH – *Fully Integrated and Automated Technologies*
- LSF – *Light Steel Framing*
- MEHIS – Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais
- OSB – *Oriented Strand Board*
- NIST – *National Institute of Standards and Technology*
- RAM – *Random Access Memory*
- SMCCV – *Sutter Medical Center Castro Valley*
- UFC – Universidade Federal do Ceará
- TI – Tecnologia da Informação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1. Contextualização .....	21
1.2. Problema de Pesquisa .....	24
1.3. Objetivos.....	27
1.4. Estrutura da dissertação .....	28
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	30
2.1. Estratégia de Pesquisa .....	31
2.2. Delineamento da Pesquisa.....	34
2.2.1. <i>Compreensão</i> .....	35
2.2.2. <i>Desenvolvimento</i> .....	38
2.2.3. <i>Validação</i> .....	40
<b>3. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)</b> .....	43
3.1. Contextualização .....	43
3.2. Conceito e características .....	44
3.3. Potenciais do BIM .....	48
3.3.1. <i>Entrega integrada do projeto (IPD)</i> .....	49
3.3.2. <i>Customização em massa</i> .....	52
3.4. Desafios para a implantação do BIM .....	54
<b>4. COORDENAÇÃO MODULAR</b> .....	59
4.1. Contextualização .....	59
4.2. Conceito e características .....	59
4.3. Potenciais da Coordenação Modular .....	61
4.3.1. <i>Customização em massa</i> .....	62
4.4. Desafios para a aplicação da Coordenação Modular.....	64
<b>5. ESTUDO CONJUNTO ENTRE BIM E COORDENAÇÃO MODULAR</b> .....	66
5.1. BIM e Coordenação Modular como estratégias de melhoria para a indústria da AEC.....	66
5.2. Proposta de transformação dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros para o BIM.....	68
<b>6. SISTEMAS CONSTRUTIVOS</b> .....	73
6.1. Alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos.....	75
6.1.1. <i>Conceito e características</i> .....	75
6.1.2. <i>Alvenaria Racionalizada e Coordenação Modular</i> .....	77

6.1.3. Bloco cerâmico – Projeto MEHIS .....	78
6.2. Light Steel Framing .....	80
6.2.1. Conceito e características .....	80
6.2.2. Light Steel Framing e Coordenação Modular .....	83
<b>7. DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>84</b>
7.1. Geração dos parâmetros de um primeiro sistema construtivo: alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos.....	84
7.1.1. Estudo da alvenaria isolada .....	88
7.1.2. Estudo do encontro em L .....	91
7.1.3. Estudo do encontro em T e do encontro em X.....	94
7.1.4. Aplicação dos parâmetros pré-definidos – projetos em desenho 2D .....	96
7.2. Simulação dos parâmetros pré-definidos, utilizando a linguagem <i>script</i> . .....	99
7.2.1. Criação da família de blocos cerâmicos em objeto GDL. ....	99
7.2.2. Revisão dos parâmetros, utilizando a linguagem GDL.....	103
7.2.3. Aplicação dos parâmetros revisados – projetos em desenho GDL. ....	108
7.3. Programação do <i>plug-in</i> a partir dos parâmetros determinados. ....	112
7.3.1. Estudo da documentação API e estabelecimento da estratégia de programação. ....	112
7.3.2. Surgimento de dúvidas e refinamento dos parâmetros. ....	117
7.3.3. Programação do <i>plug-in</i> e aplicação prévia nos projetos A e B. ....	119
7.3.4. Refinamento do <i>plug-in</i> para a geração de documentação e extração de quantitativos. ....	121
<b>8. VALIDAÇÃO</b> .....	<b>124</b>
8.1. Aplicação do <i>plug-in</i> nos projetos A e B, junto aos respectivos projetistas.....	124
8.1.1. Dúvidas em relação ao funcionamento e possibilidades de uso do <i>plug-in</i> .....	125
8.1.2. Sugestões para aperfeiçoamento do <i>plug-in</i> e trabalhos futuros. ....	126
8.1.3. Opiniões sobre a importância da pesquisa. ....	127
8.2. Revisão da metodologia pré-estabelecida.....	127
8.3. Aplicação da metodologia em um segundo sistema construtivo: <i>Light Steel Framing</i> ... ..	129
8.3.1. Identificação dos componentes básicos do sistema construtivo em questão.....	130
8.3.2. Identificação das relações que o objeto estabelece entre semelhantes. ....	130
8.3.3. Decomposição das principais dimensões em função dos componentes identificados. ....	132
8.3.4. Identificação da dimensão “problema” e estabelecimento de seus divisores e restos. ....	133
8.3.5. Mapeamento das dimensões recorrentes e das configurações possíveis. ....	135

8.3.6. Estabelecimento de um gráfico de evolução, contendo as configurações mapeadas. .	138
<b>9. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	140
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	143
<b>APÊNDICES</b> .....	151
APÊNDICE A – Projetos A e B, utilizados na presente pesquisa, incluindo as adaptações realizadas na planta baixa do projeto B, em função do sistema construtivo utilizado. ....	151
APÊNDICE B – Tabelas de configurações das paginações levantadas para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, utilizando a família de blocos MEHIS.....	154
APÊNDICE C – Quadros de evolução das configurações levantadas para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, utilizando a família de blocos MEHIS.....	156
APÊNDICE D – Resultado da aplicação do <i>plug-in</i> para os projetos A e B. ....	161
<b>ANEXOS</b> .....	175
ANEXO A – Documentação referente à biblioteca de funções API_WallType, utilizada para os estudos do <i>plug-in</i> . ....	175
ANEXO B – Documentação referente à biblioteca de funções API_WallRelation, utilizada para os estudos do <i>plug-in</i> . ....	180

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Devido às mudanças que vêm ocorrendo no cenário da construção civil, é possível destacar o aumento da competitividade entre as empresas e do nível de exigência por parte do consumidor final, o que gera a busca por ações que tragam melhorias aos processos desenvolvidos pelo setor; do projeto à execução.

Tais condicionantes se consolidaram no contexto do mercado brasileiro a partir do final da década de 80, onde se encontram: economicamente, uma tendência generalizada à baixa de preços; comercialmente, uma maior exigência por parte do cliente em termos de qualidade, prazos e demanda de serviços; enquanto, tecnicamente, as empresas vêm sendo pressionadas pelo aumento da complexidade e da variabilidade das operações nas obras (CARDOSO, 1996 *apud*. BARROS NETO, 1999).

Soma-se, ainda, o desafio do atendimento da demanda crescente por habitações, o que requer da indústria da construção civil a habilidade de maximizar a construtibilidade e minimizar tempo e custo, sem a perda de desempenho do produto final (ZECHMEISTER, 2005).

Para tanto, faz-se necessária a superação de uma série de características do subsetor das edificações que o torna ineficiente em relação à produtividade, desperdício de insumos, qualidade e confiabilidade dos seus produtos finais (FRANCO, 1992). Ressalta-se, ainda, a busca pelo aumento do valor agregado e a conformidade com as normas vigentes (GREVEN; BALDAUF, 2007).

No cenário internacional, a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) também apresenta sinais de baixo desempenho. Estatísticas do *Construction Industry Institute* (Estados Unidos) revelam que atividades que não adicionam valor correspondem a 62% do total, enquanto as mesmas equivalem a 10% na indústria fabril (SHIZHAO, 2006 *apud*. ZHAN; GUANGBIN, 2009). Estudos nos EUA, Escandinávia e Reino Unido sugerem que até 30% da indústria da construção é retrabalho; a eficiência do serviço é usada em apenas 40-60% do seu potencial e pelo menos 10% dos materiais é desperdiçado (EGAN, 1998).

Nesse contexto, a etapa do projeto<sup>1</sup> é destacada como elemento estratégico para a implementação de melhorias, pois converge todas as decisões e restrições tecnológicas, de custos, de prazos, de relacionamento com fornecedores e de organização da produção, com caráter de antecipação virtual das etapas posteriores (BERTEZINI, 2006).

---

<sup>1</sup>“Atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução.” (MELHADO, 1994).

Franco (1992) destaca que o planejamento da execução da construção é baseado em informações contidas no projeto, portanto se este não guarda um grau de precisão e detalhe coerentes com a execução, muitas variáveis incontroláveis são introduzidas no planejamento. Nesse mesmo sentido, Grandiski (2004) afirma que 40% das patologias encontradas em edifícios já construídos poderiam ter sido evitadas na fase de projeto e que tais falhas dificilmente são consertadas em canteiro.

Dessa forma, a influência do processo de projeto se estende a todo o ciclo de vida do ambiente construído e deficiências que venham a surgir nesse momento tendem a repercutir na execução, no uso e na satisfação do cliente final.

Apesar de sua tamanha importância, verifica-se que o processo de projeto, frequentemente, apresenta falhas, em especial pelo aumento de suas características multidisciplinares e de sua complexidade. O processo criativo multidisciplinar traz o desafio de associar lógicas particulares em uma solução única; enquanto o aumento de complexidade, gerada por uma grande variedade de tecnologias e profissionais, dificulta a elaboração de uma linguagem objetiva e clara para todos. Resulta-se, assim, em uma falta de comunicação entre os agentes envolvidos e em um processo de projeto com soluções sequenciais, em substituição às simultâneas e colaborativas (RUSCHEL *et al.*, 2010).

Somado a isso, no Brasil, o processo de projeto não é valorizado em termos de prazo e custo, sendo encarado como ônus por parte dos empreendedores (MELHADO, 2005 *apud*. ITO, 2007).

O modelo convencional de contratação, denominado *design-bid-build*<sup>2</sup>, colabora para tais problemas, pois a empresa contratada para realizar o projeto não participa da obra, que fica por conta de uma construtora completamente desvinculada da concepção do empreendimento (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2010). O processo torna-se linear e a equipe de construção normalmente não participa da etapa de planejamento; a falta de comunicação inicial entre as equipes de projeto e construção geralmente leva a negligências e equívocos quanto aos detalhes do projeto (KYMMELL, 2008).

No intuito de superar essas deficiências, surgiu o desenvolvimento de projetos de entrega integrada (*integrated project delivery* – IPD), novo modelo de contratação que busca integrar pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas em um processo colaborativo que explora os talentos e idéias de todos os participantes. Dessa forma, é possível melhorar os resultados do projeto, aumentar o valor para o contratante, reduzir o desperdício e maximizar a

---

<sup>2</sup> A empresa contratada para realizar o projeto não participa da obra, que fica sob a responsabilidade de uma construtora desvinculada da concepção do empreendimento (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2010).

eficiência em todas as fases (concepção, fabricação e construção) (AIA, 2007). Porém, deve-se ressaltar que para que tal modelo seja implementado de forma eficaz faz-se necessário um ambiente colaborativo e de eficiente troca de informações entre as equipes, distante da atual realidade vista no cenário brasileiro.

No que diz respeito ao atendimento da demanda crescente por habitações, encontra-se a estratégia da customização em massa: habilidade de, rapidamente, projetar, produzir e entregar produtos que estejam em acordo com as necessidades específicas dos clientes, a preços compatíveis ao da produção em larga escala (TU *et al.*, 2001). Dessa forma, é possível a integração de aspectos de custo e tempo, conferidos à produção em série, com qualidade e satisfação do cliente final, associados a projetos concebidos individualmente.

Duarte (2007), por sua vez, coloca como o projeto de habitações em série tem sido um tema importante na arquitetura, desde a Revolução Industrial do século XIX, devido à introdução de processos de produção em série baseados na linha de montagem, inicialmente desenvolvida por Henry Ford, para a indústria de automóveis. Porém, o grau de repetição inerentes a esse processo tornou-se inaceitável para uma sociedade, na qual a escolha e a liberdade individual são cada vez mais valorizadas.

Uma nova abordagem surgiu em meados do século XX, baseada na intercambialidade de componentes, que, embora produzidos por indústrias diferentes, passam a ser compatíveis entre si em função de uma padronização dimensional, o que caracteriza a industrialização aberta<sup>3</sup> (GREVEN; BALDAUF, 2007). Porém, novamente dificuldades de comunicação não permitiram garantir uma interpermutabilidade de componentes perfeita, constituindo uma importante barreira à integração e à redução de custos. (DUARTE, 2007).

Assim, percebe-se o quanto o fluxo e a integração de informações envolvidas ao longo de toda a cadeia produtiva do empreendimento, a começar pela fase de projeto, têm sido um entrave para a aplicação de melhorias no setor da construção civil, segundo os aspectos já abordados anteriormente.

Nesse contexto, encontram-se como estratégias para redução desse problema: o resgate dos conceitos da Coordenação Modular, “antiga inovação” conhecida pelo cenário brasileiro; e a implementação do *Building Information Modeling* (BIM), processo tecnológico digital de construção civil, ainda em fase de conhecimento e apropriação por parte das empresas nacionais.

A Coordenação Modular consiste em uma estratégia de compatibilização dimensional, através de um sistema de referência modular, que norteia o desenvolvimento do projeto da

---

<sup>3</sup> “Forma de industrialização na qual os componentes são produzidos a partir de um módulo-base, para que sejam combinados com outros componentes, qualquer que seja o fabricante” (GREVEN; BALDAUF, 2007).

edificação e seus componentes construtivos. No Brasil, a NBR 15873:2010 (Coordenação Modular para edificações) definiu 100 mm como medida modular de referência (sistema decimétrico).

O *Building Information Modeling*, ou modelagem de informação da construção (ABNT, 2010b), consiste no uso de um modelo digital para armazenamento e compartilhamento dos dados referentes ao projeto, possível de ser acessado e modificado por toda a equipe integrante do processo. Os dados são inclusos como parâmetros associados aos elementos de projeto, inseridos ao modelo como objetos paramétricos.

Considerando que a Coordenação Modular inclui princípios que permitem a compatibilização de medidas (sistema decimétrico) e que, no BIM, os elementos de projeto são definidos a partir do estabelecimento de parâmetros (modelagem paramétrica), é possível deduzir a seguinte relação: transformação dos princípios de compatibilização da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis ao BIM.

Assim, a presente pesquisa investiga a associação do BIM com os princípios da Coordenação Modular, verificando suas possibilidades de aplicação através da customização de um aplicativo.

Como resultado, propõe-se uma metodologia de tradução dos princípios da Coordenação Modular para parâmetros que alimentem o aplicativo BIM, a ser desenvolvida ao longo da criação de um *plug-in*, uma aplicação que visa à inclusão de novas funções a um determinado programa computacional. No caso do estudo tal função incluiu a geração automática de soluções de projetos modulados, o que permitiria a comparação rápida de alternativas diferentes para um mesmo projeto, trazendo contribuições técnicas no sentido de redução de tempo de trabalho, auxílio à tomada de decisão e aproximação do processo de projeto ao processo de execução.

Foram escolhidos dois sistemas construtivos de vedação vertical a serem representados ao longo do desenvolvimento da pesquisa: a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos e o *light steel-framing*, considerando as possibilidades de adequação de ambos aos princípios da Coordenação Modular. O nível de interface com os outros subsistemas do edifício e sua importância para a racionalização da obra como um todo justificaram a seleção da vedação vertical como objeto da investigação proposta.

## **1.2. Problema de Pesquisa**

A escolha do BIM e da Coordenação Modular como temas de pesquisa parte da percepção de que ambos atuam em objetivos comuns, no que diz respeito à integração e

otimização de informações nos processos projetuais e construtivos, enquanto permitem uma flexibilidade de combinações de medidas e elementos, facilitando a geração de novas soluções e adaptações. Assim, pressupõe-se que o potencial estratégico da Coordenação Modular e do BIM, separadamente, possa ser incrementado através de uma associação entre ambos.

A atualidade do tema se observa pelas recentes discussões realizadas quanto à normatização de ambos os assuntos aqui abordados: Coordenação Modular, em caráter de revisão, e BIM, para regulamentação do uso da nova tecnologia.

Sobre a revisão da norma de Coordenação Modular, a sessão “Painel de Normas” da revista Guia da Construção (2009) traz:

“Os textos sobre coordenação modular que já existem serão avaliados e revisados para a confecção da nova regulamentação. ‘O conceito é simples e a idéia é simplificar para facilitar a aplicação’, (Carlos Borges – superintendente do CB-02 da ABNT) explica. Mas é na execução segundo os parâmetros da nova norma que residem os maiores desafios. ‘O texto vai sair rapidamente e será satisfatório. O grande trabalho será o de difundir e qualificar o setor para usar o texto adequadamente’.”

A respeito da proposta de norma sobre BIM, a mesma matéria coloca:

“Se depender da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os problemas com padronização de projetos para integração com o BIM (*Building Information Modeling*) estão em vias de acabar. A entidade convocou uma comissão especial para elaborar a normativa técnica de regulamentação do uso da tecnologia. ‘A norma vai padronizar o ambiente virtual no qual os projetos são feitos para facilitar a integração’, explica o engenheiro Carlos Borges, que tem acompanhado os trabalhos.”

A norma ABNT NBR 15873:2010 (Coordenação Modular para edificações) foi aprovada em setembro de 2010, enquanto a norma voltada para a padronização da nomenclatura utilizada no ambiente virtual do BIM (NBR ISO 12006-2:2010) está em vigor desde abril do mesmo ano.

Considerando-se a atualidade da discussão aqui proposta, e feito um primeiro levantamento bibliográfico, confirmou-se a existência de lacunas de conhecimento no que diz respeito à integração dos dois assuntos abordados: Coordenação Modular e BIM, como será abordado a seguir.

Apesar de uma ampla disseminação de conceitos e estudos sobre a Coordenação Modular durante a década de 70 e início dos anos 80, poucos objetivos foram alcançados quanto à racionalização da construção (BALDAUF, 2004).

No que diz respeito ao BIM, levantamentos realizados acerca do cenário nacional das pesquisas referentes ao assunto apontam que as discussões apresentadas até então possuem como enfoque principal o processo de projeto e ainda são muito preliminares. Embora a difusão do BIM

tenha aumentado recentemente, o seu emprego ainda se dá de forma incipiente no Brasil e a maior concentração de pesquisadores se dá no Sul e no Sudeste (ANDRADE; RUSCHEL, 2009a; CHECCUCCI *et al.*, 2011).

Ainda considerando o registrado nos levantamentos supracitados, as pesquisas nacionais, cujos temas mais se aproximam da presente proposta de pesquisa, dizem respeito à customização de aplicativos BIM usados em projeto de arquitetura, incluindo:

- a) Monteiro *et al.* (2009), que discutem a representação 3D dos elementos de uma parede no BIM, de forma a atender aos requisitos de projetos para a produção de vedações verticais em alvenaria, sem sobrecarregar o modelo BIM a ponto de reduzir seu desempenho.
- b) Ayres *et al.* (2008), que apresentam uma experiência de customização de um objeto paramétrico, de um aplicativo BIM, visando a se adaptar à produção de alvenarias de blocos de concreto.

Com relação ao uso do BIM por parte das empresas brasileiras, algumas já começam a estudar a implantação da tecnologia. Em destaque no cenário nacional, duas construtoras do segmento comercial vêm desenvolvendo projetos em BIM, desde 2008; enquanto uma focada no segmento residencial deu início em 2010 a um projeto piloto para implantar o novo processo em todos os empreendimentos da empresa até 2013. Os principais usos dizem respeito à compatibilização entre projetos; recursos visuais para estudos de sequência construtiva e logística de canteiro, além da melhor visualização de detalhes construtivos e uso do modelo virtual para acompanhamento e controle de obra. A intenção de extração de quantitativos e sua integração com a área de orçamento é colocada por todas as empresas mencionadas, porém, ainda é um desafio para momentos posteriores (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2011).

No cenário internacional, foi realizado um levantamento bibliográfico através do sistema de busca do CUMINCAD<sup>4</sup>, considerado uma biblioteca virtual referência no assunto de projeto assistido por computador. Para a busca do termo “*modular coordination*”, foram encontrados 192 registros. Os resumos dos trabalhos foram verificados para a averiguação de seus temas, não sendo encontrada pesquisa com abordagem semelhante ao do presente estudo.

Diante do contexto supracitado e considerando a justificativa que levou ao interesse na presente pesquisa, o problema de pesquisa formulado consiste no seguinte:

---

<sup>4</sup> *Cumulative Index of Computer Aided Architectural Design* – biblioteca virtual de publicações relacionadas ao processo de projeto assistido por computador, incluindo mais de 10,300 registros de revistas e conferências no tema, como ACADIA, ASCAAD, CAADRIA, eCAADe, SiGraDi, dentre outros. O sistema foi criado pelos professores Bob Martens (Vienna University of Technology, Austria) e Ziga Turk (University of Ljubljana, Slovenia) e teve início em 1998, contendo publicações lançadas a partir da década de 60.

### **Qual associação é possível estabelecer entre BIM e Coordenação Modular, de forma a alcançar benefícios técnicos para a indústria da AEC?**

Baseando-se na revisão bibliográfica realizada sobre ambos os temas, a ser apresentada nos capítulos 3 e 4 do presente trabalho, percebeu-se que as principais possibilidades de melhorias com a associação entre BIM e Coordenação Modular provém da possibilidade de otimização e sistematização de informações. Pretendem-se, dessa forma, contribuições técnicas que possibilitem o aumento de comunicação entre os agentes envolvidos e a aproximação do processo de projeto ao processo de execução.

Os princípios da Coordenação Modular que referenciam todas as dimensões envolvidas na edificação encontrariam no modelo paramétrico do BIM um ambiente virtual e compartilhado para sua concretização e visualização. Assim, sugere-se como forma de associação entre ambos os temas, a transformação dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros que possam ser aplicados ao modelo BIM. Considerada a variedade de funções desempenhadas pelos diferentes aplicativos BIM, que incluem modelagem do projeto, estudo de simulações, acompanhamento do gerenciamento da obra, dentre outros, foi delimitado o universo de aplicativos BIM de modelagem. A seleção se deu em função da utilização de tais aplicativos já a partir da concepção do projeto, momento em que a aplicação dos princípios da Coordenação Modular deve ser vislumbrada para evitar posteriores retrabalhos.

Como o processo de tradução dos princípios de Coordenação Modular para parametrizações em BIM não encontra precedentes, considera-se que o registro da metodologia desenvolvida no presente trabalho contribui, ainda, como base para futuras pesquisas na mesma área ou com intuítos semelhantes.

### **1.3. Objetivos**

O objetivo do trabalho consiste em desenvolver a customização de um aplicativo BIM de modelagem, segundo os princípios da Coordenação Modular, como possibilidade de associação entre ambos os conceitos, verificando-se, assim, sua aplicabilidade e possíveis benefícios técnicos para o desenvolvimento e execução do projeto.

Os objetivos específicos incluem:

- a) Estabelecer uma metodologia para a tradução dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros que alimentem o sistema BIM;
- b) Desenvolver a customização de um aplicativo BIM de modelagem, através da representação de um sistema construtivo voltado para vedação autoportante, no caso, alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos;

- c) Aplicar o resultado da customização do aplicativo BIM em dois projetos de Habitação de Interesse Social (HIS), verificando seu correto funcionamento e levantando os ajustes necessários.
- d) Validar a metodologia desenvolvida anteriormente para um segundo sistema construtivo para vedação autoportante, conferindo sua aplicabilidade, no caso, o *light steel framing*.

#### 1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação consiste em três partes principais: apresentação da pesquisa e sua metodologia (capítulos 1 e 2); revisão bibliográfica da metodologia e dos principais temas envolvidos na pesquisa (capítulos 3, 4, 5 e 6); e desenvolvimento da investigação proposta propriamente dita (capítulos 7, 8 e 9), além das referências, anexos e apêndices.

O **Capítulo 1**, aqui apresentado, coloca o contexto na qual a pesquisa se insere, seguido de sua justificativa e os objetivos aos quais visa alcançar.

O **Capítulo 2** coloca a metodologia seguida para o alcance dos objetivos da pesquisa e obtenção de seus resultados. São especificados a estratégia e o delineamento da pesquisa, esse dividido em 3 etapas principais: compreensão; desenvolvimento; e validação.

O **Capítulo 3** e o **Capítulo 4** apresentam a revisão bibliográfica realizada sobre os temas *Building Information Modeling* (BIM) e Coordenação Modular, respectivamente.

São colocados os principais conceitos, características e o cenário atual de ambos, visando à compreensão do que cada assunto trata, além dos potenciais a serem explorados com a pesquisa proposta.

O **Capítulo 5** traz a revisão bibliográfica dos aspectos comuns entre BIM e Coordenação Modular e o embasamento teórico que gerou a proposta de associação entre ambos, a ser desenvolvida ao longo da investigação da presente pesquisa.

É apresentado como se chegou à questão de que a associação entre ambos poderia trazer resultados positivos para a indústria da AEC e em que se baseou o traçado da investigação proposta.

O **Capítulo 6** trata da revisão bibliográfica sobre os sistemas construtivos escolhidos para serem representados nos experimentos realizados ao longo do trabalho: a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos e o sistema *light steel framing* (LSF).

Considerando que a representação de ambos será o objeto dos experimentos, é necessário compreender como cada sistema construtivo funciona e que critérios levaram a sua escolha para o presente trabalho

O **Capítulo 7** traz a etapa de desenvolvimento, detalhando seus procedimentos e apresentando seus resultados parciais.

O **Capítulo 8** trata da etapa de validação, detalhando seus procedimentos e apresentando os resultados finais.

Por fim, o **Capítulo 9** traz as considerações finais, onde se comentam os resultados finais, concluindo de que forma os objetivos propostos foram alcançados, além da inclusão de sugestões para trabalhos posteriores.

Os demais conteúdos incluem as referências apresentadas ao longo do trabalho, além dos anexos e apêndices.

## 2. METODOLOGIA

A presente pesquisa se caracteriza por ser qualitativa e de caráter exploratório, ou seja, visa ao aprimoramento de idéias ou à descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, flexível, possibilitando a consideração dos mais variados aspectos, relativos ao fato estudado (GIL, 2002).

A pesquisa qualitativa se abstém de estabelecer um conceito bem definido daquilo que se estuda e de formular hipóteses no início para depois testá-las. Em vez disso, os conceitos (ou as hipóteses, se forem usadas) são desenvolvidos e refinados no processo de pesquisa (BARBOUR, 2009).

O processo de condução da pesquisa é, portanto, indutivo; o pesquisador coleta e organiza os dados com o objetivo de construir conceitos, pressuposições ou teorias, ao invés de, dedutivamente, derivar hipóteses a serem testadas. A análise indutiva dos dados leva a identificação de padrões recorrentes, temas comuns e categorias (GODOY, 2005).

A pesquisa se enquadra nesse processo, pois trata da investigação do potencial de integração entre dois temas (BIM e Coordenação Modular), proposta a partir do conhecimento sobre cada um isoladamente. Consiste, portanto, no aprimoramento de uma intuição inicial, realizado através de uma aplicação (*plug-in*), definida e refinada ao longo do próprio processo de investigação.

Devido à carência de pesquisas anteriores com tema semelhante, acentuam-se tal caráter exploratório e a possibilidade de se chegar a resultados originais. Trabalhos anteriores, cujos temas mais se aproximaram, contribuindo, assim, para a investigação proposta, são citados nos itens 1.2 e 5.2.

Os temas BIM e Coordenação Modular são abordados no referencial teórico, apresentado nos capítulos 3 e 4, respectivamente, para que seja possível compreender o potencial que motivou a proposta do presente trabalho.

A fim de tornar os motivos e expectativas da investigação ainda mais evidentes, são enfatizados no capítulo 5 os aspectos comuns entre ambos os temas, e o embasamento teórico que gerou a proposta de associação entre eles.

O capítulo 6 traz, ainda, os sistemas construtivos selecionados para serem representados nos experimentos realizados: a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos e o sistema *light steel framing* (LSF). Considerando que ambos serão objetos de representação ao longo da investigação, é necessário compreender como funcionam e que critérios levaram à sua escolha.

A seguir, são apresentados a estratégia e o delineamento da pesquisa para uma melhor compreensão de sua metodologia.

## 2.1. Estratégia de Pesquisa

O trabalho trata da interposição de duas temáticas com arcabouço teórico consolidado (BIM e Coordenação Modular) para a geração de novos conhecimentos (metodologia) e um produto final que garanta sua aplicabilidade: o *plug-in*.

Diante desse contexto, optou-se pela pesquisa construtiva (*construction research* ou *design research*) como referência para a estratégia de pesquisa.

A abordagem da pesquisa construtiva consiste na produção de “construções inovadoras<sup>5</sup>”, destinadas a resolver problemas enfrentados no mundo real e contribuir para a teoria da disciplina em que é aplicada (LUKKA, 2003). Um elemento essencial da abordagem construtiva é vincular o problema e sua solução ao conhecimento teórico acumulado. A inovação e o funcionamento da solução devem ser demonstrados também (KASANEN *et al.*, 1993).

Suas principais características incluem (LUKKA, 2003):

- a) Foco em problemas do mundo real, cujas soluções sejam relevantes na prática;
- b) A geração de uma “construção inovadora” com o intuito de resolver um problema inicial do mundo real;
- c) Implementação da construção desenvolvida para testar sua aplicabilidade prática;
- d) Cooperação entre pesquisador e profissionais em caráter de equipe, possibilitando aprendizagem baseada na experiência;
- e) Referência explícita a um conhecimento teórico anterior;
- f) Atenção particular à reflexão de descobertas práticas, retornando à reflexão teórica.

Tal construção pode ser compreendida como um artefato inovador, cujo exercício de criação permitirá que o pesquisador compreenda melhor o problema e, assim, a posterior viabilidade da solução encontrada (HEVNER *et al.*, 2004, *apud* BONATTO, 2010). Seus critérios de avaliação devem incluir integridade, simplicidade, ser compreensível e de fácil utilização (JÄRVINEN, 2001 *apud* MÖTTÖNEN, 2009).

O problema da pesquisa, que consiste em qual associação é possível estabelecer entre Coordenação Modular e BIM, de forma a alcançar benefícios técnicos para a Indústria da AEC, prevê como resultado positivo um aumento da comunicação entre os agentes envolvidos na cadeia produtiva e a aproximação da etapa de projeto com a etapa de execução. Essas questões são

---

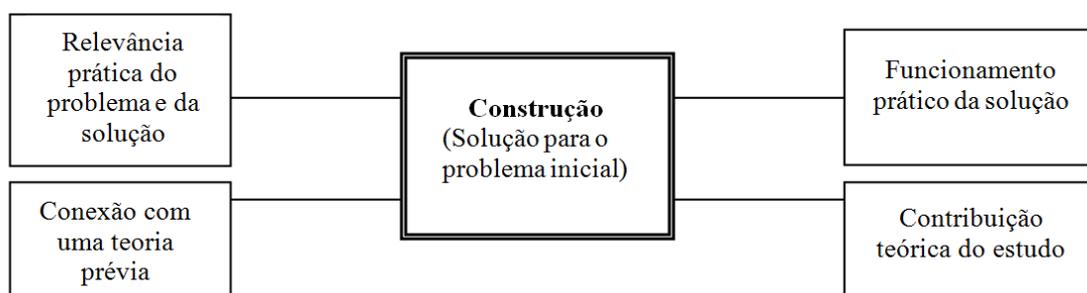
<sup>5</sup> O conceito de “construção inovadora” nesse contexto se relaciona a todos os artefatos humanos - tais como modelos, diagramas, planos, estruturas da organização, produtos comerciais e projetos de sistemas de informação. Sua principal característica é a de ser inventada e desenvolvida, não descoberta (LUKKA, 2003).

apontadas como gargalos fundamentais para a melhoria da qualidade de projeto, do produto final da construção e, em particular, da customização em massa da habitação – estratégia interessante para o segmento de HIS.

Trata-se, portanto, de um problema de relevância prática, cuja solução parte do princípio teórico de que, estando acordado que Coordenação Modular e BIM, separadamente, já consistem em estratégias interessantes para a otimização e sistematização da informação nos diferentes níveis da cadeia da construção civil, atuando em conjunto podem trazer benefícios técnicos ainda maiores, inclusive suprindo deficiências entre si. Assim, o desenvolvimento de uma solução (construção) que demonstre como essa associação poderia ser realizada torna a pesquisa de acordo com os principais elementos de uma pesquisa construtiva.

A figura 1 coloca tais elementos, demonstrando, em resumo, um constante processo de reflexão dos aspectos teóricos e práticos conjuntamente, tanto na relevância do problema inicial, quanto na contribuição da solução final (construção):

Figura 1 – Principais elementos envolvidos na estratégia da pesquisa construtiva.



Fonte: Lukka, 2003.

Um comparativo com os elementos da pesquisa é estabelecido na figura 2 para facilitar a compreensão de como o estudo é adequado aos princípios da pesquisa construtiva.

Figura 2 – Principais elementos da pesquisa, estabelecendo um comparativo com a figura 1.



Fonte: Autor

Dessa forma, uma característica importante da pesquisa construtiva é que não apenas os casos de sucesso de implementação da construção são considerados teoricamente relevantes, visto que, os projetos que por alguma razão falhem sob o ponto de vista prático, podem ainda ter relevância teórica sob o ponto de vista acadêmico (SCHRAMM, 2009).

Vale salientar, ainda, que o desenvolvimento da pesquisa será baseado em uma abordagem sistêmica, adotando como conceito de sistema um “agregado de elementos que são relacionados entre si ao ponto de partilhar propriedades”. Os sistemas podem ser estudados por parâmetros gerais, de forma que possamos compará-los, mesmo quando diferem radicalmente em natureza (VIEIRA, 2006).

Borges (2000) coloca como denominador comum dos sistemas a complexidade; a interação entre as partes componentes (elementos); e a existência de um comportamento, de uma finalidade, de uma conduta. Um sistema se caracteriza, portanto, pela composição de partes que interagem entre si, relacionando-se conforme parâmetros, como será explicitado no item 5.2 do presente trabalho.

Nesse contexto, é importante citar a crítica colocada por Morin (2007) ao paradigma da simplificação, característico da ciência tradicional, que traz a necessidade de ordenar os fenômenos através de operações que, apesar de necessárias à inteligibilidade, correm o risco de levar a uma “inteligência cega”. Reduzindo o complexo ao simples, podem-se destruir conjuntos e totalidades, isolar os seus objetos do seu meio e separar as disciplinas. O autor defende, portanto, um pensamento complexo que, ao contrário do pensamento simplificador que “desintegra a complexidade do real”, busca integrar ao máximo os modos simplificadores de pensar, recusando as consequências redutoras e unidimensionais de uma simplificação.

Portanto, no lugar de pensar a compartimentação estrita do saber, devem-se focalizar as possíveis e necessárias relações entre as disciplinas e a efetivação de contribuições entre elas, caracterizando-se uma interdisciplinaridade (VASCONCELLOS, 2002).

Em uma realidade complexa, como a que existe hoje, os *designers* (projetistas) devem agir com competência de maestro de orquestra, procurando promover novas relações, interligar os sistemas desconexos, enxergar novas possibilidades, e propor novas costuras e interpretações (MORAES, 2010).

Dessa forma, ao tratar de uma abordagem sistêmica é importante considerar o pensamento complexo e as múltiplas dimensões da realidade. Porém, deve-se salientar, ainda, que ele não é completo e nem conduz à eliminação da simplicidade. Em certas ocasiões, o pensamento simplificador é necessário, principalmente quando é importante compreender as partes em si (LIMA *et al.*, 2011).

Assim, considerando o caráter interdisciplinar da pesquisa e seu objetivo de buscar um denominador comum entre dois temas específicos, as preocupações do pensamento complexo se mostram essenciais para que não haja perda do “todo” ao longo da investigação de suas partes. Porém, em determinados momentos, como na representação de um objeto real em linguagem de programação durante o desenvolvimento do *plug-in*, aspectos do pensamento simplificador se mostraram necessários para o estabelecimento de um recorte para a pesquisa. É o caso do estudo do sistema construtivo aplicado a um único subsistema, isolado do resto da edificação, como objeto a ser representado.

Em resumo, percebe-se que as características do enfoque sistêmico coadunam com o caráter exploratório e a estratégia de pesquisa aqui propostos, pois o trabalho apresenta uma abordagem intuitiva, a reunião de uma equipe interdisciplinar entre diferentes especialistas e, principalmente, um processo de reflexão contínuo ao longo do desenvolvimento do trabalho.

## 2.2. Delineamento da Pesquisa

Para o delineamento da presente pesquisa, foram considerados os passos característicos do processo da pesquisa construtiva (KASANEN *et al.*, 1993; LUKKA, 2000 *apud* LUKKA, 2003):

- a) Encontrar um problema com relevância prática, além de potencial como contribuição teórica;
- b) Obter conhecimento geral e profundo do tema;
- c) Desenvolver uma construção para a solução do problema;
- d) Implementar a solução, testando seu funcionamento;
- e) Refletir sobre a aplicabilidade da solução;
- f) Identificar e analisar a contribuição teórica.

Tais passos foram agrupados em 3 etapas principais: **compreensão**; **desenvolvimento**; e **validação**, conforme apresentado no quadro 1.

É importante salientar que, apesar das atividades terem sido locadas em etapas específicas, a fim de estruturar didaticamente o delineamento da pesquisa e facilitar o seu entendimento, na prática o processo se mostra mais flexível. Por exemplo, “obter conhecimento geral e profundo do tema” tem um maior destaque na etapa de compreensão, visto sua importância para possibilitar o embasamento necessário ao início da pesquisa, porém, a atualização do referencial teórico é uma constância ao longo de todo o trabalho.

Quadro 1 – Esquema da investigação proposta na presente pesquisa.

ETAPAS	ATIVIDADES
<b>COMPREENSÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar um problema com relevância prática, além de potencial como contribuição teórica;</li> <li>• Obter conhecimento geral e profundo do tema.</li> </ul>
<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolver uma construção para a solução do problema.</li> </ul>
<b>VALIDAÇÃO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar a solução, testando seu funcionamento;</li> <li>• Refletir sobre a aplicabilidade da solução;</li> <li>• Identificar e analisar a contribuição teórica.</li> </ul>

Fonte: Autor.

### 2.2.1. Compreensão

A **compreensão** inclui a descoberta do problema inicial, considerando sua relevância prática e teórica; e um primeiro estudo dos principais temas envolvidos, visando à obtenção de conhecimento e domínio necessários para dar início à investigação.

Compreende:

- Levantamento teórico inicial, que terá continuidade ao longo de toda pesquisa, através de revisão bibliográfica;
- Definição do problema de pesquisa;
- Definição do artefato (construção) a ser desenvolvido, visando à solução do problema colocado.
- Definições preliminares para dar início à construção e à etapa de **desenvolvimento**.

O levantamento teórico inicial incluiu os temas mais abrangentes da investigação: BIM e Coordenação Modular, possibilitando um conhecimento geral a respeito de ambos e a definição do problema de pesquisa.

As fontes consultadas para tanto compreenderam:

- Livros técnicos;
- Manuais técnicos;
- Periódicos;
- Artigos apresentados em eventos científicos;
- Teses e dissertações;
- Sites da área de conhecimento (arquitetura, engenharia civil e construção civil).

A revisão bibliográfica supracitada sobre BIM e Coordenação Modular é apresentada nos capítulos 3 e 4, respectivamente, enquanto o capítulo 5 coloca o embasamento teórico que gerou a proposta do artefato (construção) a ser desenvolvido.

Considerando o conteúdo mencionado e o objetivo do trabalho de desenvolver uma metodologia que transforme os princípios da Coordenação Modular em parâmetros para a alimentação de um aplicativo BIM, foi definida como construção a criação de uma nova função para determinado *software*, através de um *plug-in*.

Após o estabelecimento de que construção seria desenvolvida, foi necessário o levantamento de algumas decisões preliminares: 1. *software* e estratégia de programação; 2. os objetos a serem representados (sistema construtivo, aplicado a um subsistema da edificação).

Os critérios de seleção se basearam na revisão bibliográfica, além da experiência da pesquisadora e dos profissionais envolvidos na pesquisa, como será explicado a seguir.

Para a seleção do *software* BIM a ser utilizado para a programação, foram definidos como critérios: 1. a disponibilidade de acesso gratuito para fins acadêmicos (versão educacional); 2. possibilidades de customização, observadas a partir de pesquisas anteriores (MONTEIRO, 2011; AYRES, 2009); 3. o conhecimento técnico do *software* por parte da equipe envolvida na pesquisa.

Devido à consideração de se trabalhar com as duas estratégias de programação *script* e *plug-in*, apresentadas no item 5.2 do referencial teórico, foi escolhido o *software* ArchiCAD da empresa *Graphisoft*, que disponibiliza as seguintes opções de acesso:

- a) Programação dos objetos paramétricos na sua própria linguagem interna de *script* (*Geometrical Description Language*<sup>6</sup> – GDL), possibilitando a geração dos componentes construtivos customizados.
- b) Estabelecimento de uma interface direta com o aplicativo original, através de sua biblioteca de funções (*Graphisoft Application Programming Interface Development Kit*<sup>7</sup> – *Graphisoft API*), permitindo o desenvolvimento do *plug-in*.

Assim, a estratégia de programação adotada busca a associação de duas opções de acesso e comunicação com o aplicativo BIM a ser customizado: *script*, para a programação e

---

<sup>6</sup> Linguagem de programação paramétrica estruturada, com a sintaxe simples e semelhante à do *Visual Basic*. Há comandos GDL para a criação de todos os primitivos geométricos e também elementos construtivos nativos do programa, com opções para representação 2D e 3D (AYRES, 2009; NICHOLSON-COLE, 2000).

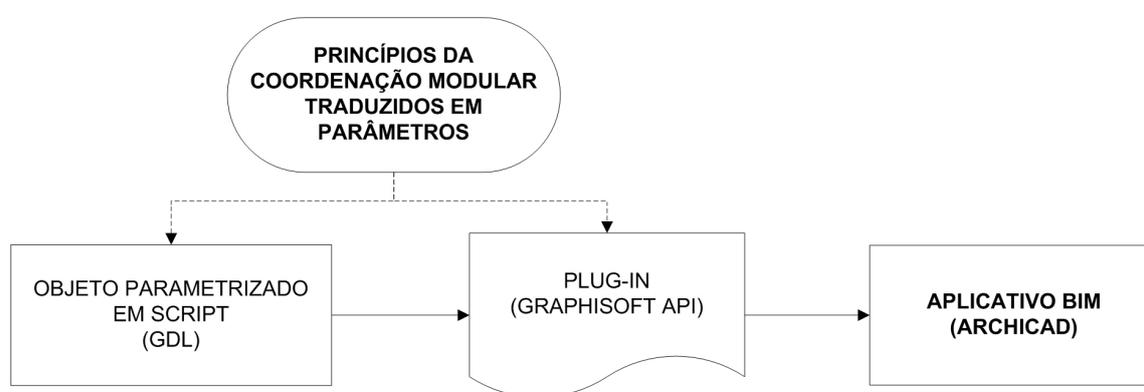
<sup>7</sup> Conjunto de bibliotecas de vínculos para programação em C++, oferecido pela própria *Graphisoft* para uso não-comercial, onde programadores podem gerar novas ferramentas ou complementos para o programa ArchiCAD (AYRES, 2009; GRAPHISOFT, 2011).

customização dos objetos paramétricos, e *plug-in*, para o estabelecimento das relações entre os objetos paramétricos e o aplicativo BIM original (figura 3).

Somado a isso, destacam-se a disponibilidade da versão educacional e, principalmente, um maior conhecimento técnico por parte da equipe envolvida na presente pesquisa.

Como referencial de suporte, foram utilizados, ainda, manuais específicos, como o *Object Making with ArchiCAD – GDL for Beginners* (NICHOLSON-COLE, 2000), artigos disponibilizados em fóruns de discussão, além de tutoriais em vídeo e documentação digital, disponibilizados pelo site oficial da própria empresa *Graphisoft*<sup>8</sup>.

Figura 3 – Esquemática da estratégia proposta para a programação e customização do aplicativo BIM.



Fonte: Autor.

Para a seleção do subsistema da edificação a ser representado, os critérios foram: 1.o grau de influência do subsistema a ser escolhido perante os demais (hierarquia entre subsistemas); 2. sua importância para o projeto da edificação como um todo (hierarquia dentro de uma estrutura organizada geral).

Devido ao seu alto nível de interface com os outros subsistemas do edifício e sua importância para a racionalização da obra como um todo, a vedação vertical foi selecionada como o objeto da investigação proposta.

Por fim, para o sistema construtivo, foram adotados os seguintes critérios: 1. parque tecnológico disponível no Brasil, especificamente no Ceará, local de realização da presente pesquisa; 2. possibilidade de adequação aos critérios da Coordenação Modular, visto que a tradução dos seus princípios para o BIM compreende o objetivo principal da investigação.

Com base em levantamento bibliográfico e visando ao atendimento desses critérios, foi selecionada a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, a ser representada no

<sup>8</sup> [http://www.graphisoft.com/education/training\\_guides/](http://www.graphisoft.com/education/training_guides/)

desenvolvimento do *plug-in*, e o *light steel framing*, para fins comparativos e validação da metodologia de tradução proposta.

Maiores detalhes sobre a escolha dos sistemas construtivos mencionados e suas características se encontram no capítulo 6.

### 2.2.2. Desenvolvimento

O **desenvolvimento** consiste no estudo exploratório realizado ao longo do processo de criação da construção proposta (customização do aplicativo BIM).

Compreende:

- a) Desenvolvimento da metodologia para a tradução de parâmetros da Coordenação Modular, aplicada a um primeiro sistema construtivo: alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos. Considerando que tais parâmetros seriam utilizados posteriormente na programação do *plug-in*, esse estudo foi realizado com a colaboração de um profissional da área da computação, que pôde opinar sobre as informações que lhe seriam mais relevantes e em que formato elas lhe seriam mais claras.
- b) Simulação da aplicação da metodologia, inicialmente em linguagem *script*, menos complexa que a programação do *plug-in*, sendo possível sua realização por parte da própria pesquisadora. A simulação utilizou a planta baixa de dois projetos de HIS de pequeno e médio porte, a fim de garantir a eficiência da metodologia e realizar os ajustes necessários.
- c) A programação de uma versão inicial do *plug-in* a partir dos parâmetros levantados no estudo exploratório da etapa anterior (alvenaria racionalizada de blocos cerâmicos), a ser realizada pelo profissional da área da computação, com o acompanhamento da equipe interdisciplinar;

Para o desenvolvimento da metodologia, foi necessária a compreensão de como se dispõe uma alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, transformando o processo em parâmetros com o intuito de sua posterior reconstrução em linguagem computacional (alimentação do modelo BIM).

Trata-se, portanto, de uma compreensão que envolve três instâncias: edificação real, representação virtual e linguagem computacional. Assim, a decomposição do objeto de estudo, e sua posterior reconstrução da instância real para a virtual, foram baseadas em conhecimentos sobre **sistema** e sobre **linguagem**, com a adoção dos seguintes parâmetros (VIEIRA, 2006): composição; conectividade; estrutura; integralidade; funcionalidade; organização; complexidade;

coesão; e coerência. Tais parâmetros são apresentados em maiores detalhes no item 5.2 do referencial teórico.

A partir de então, foram iniciadas as reuniões semanais da equipe interdisciplinar que, além da pesquisadora arquiteta, incluiu um arquiteto, um engenheiro civil e um bacharel em ciência da computação.

O estudo da decomposição do objeto (alvenaria) em seus componentes básicos pode ser dividido em dois momentos: 1. utilização de desenho 2D e outras estratégias de representação; 2. programação em *script* (linguagem GDL).

A utilização do desenho 2D incluiu o estudo da alvenaria isolada e dos encontros entre alvenarias para uma definição inicial dos parâmetros de decomposição. Nesse momento, foram utilizadas outras estratégias de representação para facilitar a comunicação entre a pesquisadora e os outros componentes da equipe, como lousa com pincel e blocos coloridos de madeira.

Os primeiros parâmetros foram aplicados em parte de dois projetos de HIS, escolhidos segundo critérios de acesso por parte da pesquisadora e possibilidade de adequação às regras de Coordenação Modular.

O projeto A consiste em um protótipo realizado pelo projeto MEHIS – Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais – da Universidade Federal do Ceará, para a aplicação prática de um bloco cerâmico racionalizado, desenvolvido em pesquisa. Devido à escolha desse bloco cerâmico como sistema construtivo para a presente pesquisa, maiores detalhes são encontrados no item 6.1.3.

Por sua vez, o projeto B consiste na unidade habitacional padrão de um projeto voltado para o reassentamento de famílias retiradas das margens do rio Maranguapinho, no estado do Ceará; parte integrante de um programa de melhorias urbanas e ambientais.

É importante salientar que a principal característica retirada desses projetos para os objetivos da presente pesquisa consiste na disposição das alvenarias em planta, com destaque para as dimensões dos vãos e os tipos de encontro.

Em seguida, foi realizada a representação em *script* (GDL) dos componentes básicos da alvenaria (blocos cerâmicos), para a revisão dos parâmetros e correção de erros detectados durante a aplicação anterior. Para tanto, utilizou-se os objetos GDL para averiguar as configurações possíveis para um conjunto de paredes, organizadas em uma disposição com baixa complexidade, que previsse encontros dos tipos L e T. Devido à complexidade do encontro em X, averiguada no momento anterior, sua revisão só foi realizada após o amadurecimento dos parâmetros estabelecidos para os encontros L e T.

Os parâmetros redefinidos foram novamente testados nos mesmos projetos de HIS, agora representados em linguagem GDL, conferindo as correções realizadas.

O resultado foi a definição parcial das regras e parâmetros, baseada em critérios importantes no que diz respeito à execução do objeto real (alvenaria), levantamento de recorrências, simplificação de apresentação e necessidades da linguagem de programação.

Em seguida, deu-se início à programação do *plug-in* a partir dos parâmetros revisados. Nesse momento, a participação do bacharel em computação foi fundamental e as reuniões, antes semanais, foram reforçadas para duas vezes por semana, visto a importância de uma maior interação e acompanhamento por parte de toda a equipe na conclusão do produto final.

Foi estudada a documentação da Graphisoft API, biblioteca de funções disponibilizada no site do próprio software ArchiCAD, para o posterior estabelecimento da estratégia de programação.

Ao longo do processo de criação do *plug-in*, surgiram dúvidas por parte do programador que trouxeram a necessidade de um maior detalhamento de alguns parâmetros. Paralelamente, as versões temporárias do *plug-in* foram aplicadas previamente aos projetos A e B a fim de se verificar erros e corrigi-los.

Após ser verificado o correto funcionamento do *plug-in* com a geração das paginações para alvenarias de ambos os projetos, foram realizados os ajustes finais para a geração de documentação e extração de quantitativos, concluindo-se, assim, a criação da construção proposta.

Os detalhes da etapa de **Desenvolvimento** e seus resultados são apresentados no Capítulo 7.

### 2.2.3. Validação

A **validação** inclui a utilização do *plug-in* em uma situação real e a aplicação da metodologia desenvolvida em um segundo sistema construtivo de vedação, englobando um processo de validação externo e interno, consecutivamente. Objetiva, assim, a realização de reflexões práticas e teóricas no que diz respeito tanto à metodologia desenvolvida, quanto à aplicabilidade da construção proposta.

Compreende:

- a) A utilização da versão inicial do *plug-in* nos projetos A e B junto aos seus respectivos projetistas, sendo possível a coleta de *feedback* sobre a importância, dúvidas e sugestões em relação à presente pesquisa;
- b) A aplicação da metodologia do estudo exploratório em um segundo sistema construtivo: *light steel framing*; conferindo a necessidade de ajustes e as

possibilidades de generalização de uma metodologia única para sistemas construtivos diferentes.

Concluída a versão inicial do *plug-in* e, garantido seu correto funcionamento, foi realizada sua aplicação junto aos projetistas dos projetos A e B, separadamente. Contou-se com a presença de uma arquiteta e um engenheiro para o projeto A, e dois arquitetos para o projeto B.

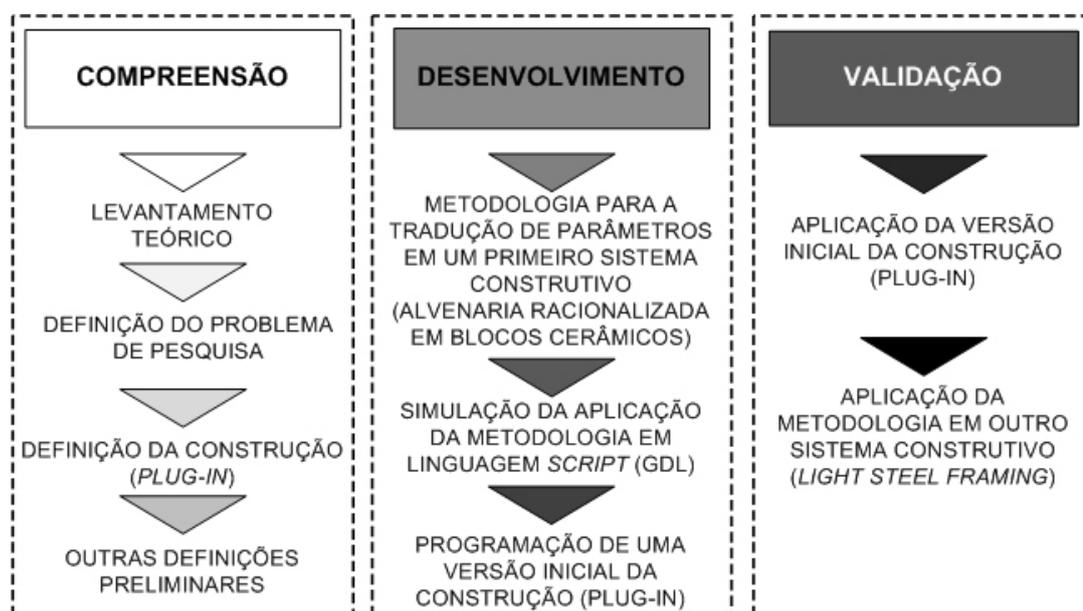
As demonstrações foram feitas em separado para cada equipe e englobaram a apresentação do que se trata a pesquisa, o resumo do processo de geração dos parâmetros, a demonstração do uso do *plug-in* e a abertura para discussão. As duas sessões foram gravadas em arquivo de som para posterior análise do conteúdo, o que permitiu a coleta e a análise de *feedback* externo no que diz respeito a dúvidas, sugestões e opiniões sobre a importância da pesquisa. O momento disponibilizou um importante conteúdo para o direcionamento de trabalhos futuros e a confirmação do interesse por parte dos profissionais em utilizar o *plug-in* como uma ferramenta complementar ao seu trabalho.

Com a conclusão da construção à qual a pesquisa se propôs (*plug-in* para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos), revisou-se a metodologia pré-estabelecida a fim de obter uma generalização que pudesse ser aplicada a outros sistemas construtivos.

Por fim, essa metodologia foi empregada no segundo sistema construtivo, previamente selecionado (*light steel framing*), para a confirmação de sua aplicabilidade e conclusão da etapa de validação.

Os detalhes da etapa de **Validação** e seus resultados são apresentados no Capítulo 8.

Figura 4 – Resumo esquemático do delineamento da pesquisa.



Fonte: Autor.

A figura 4 apresenta um resumo esquemático do delineamento da pesquisa, permitindo uma compreensão geral do conteúdo explicado ao longo dos itens 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3.

Assim, com a conclusão das etapas listadas, foi possível o desenvolvimento de todos os objetivos específicos, anteriormente mencionados. Com o trabalho realizado, foi proposta uma metodologia de tradução dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis ao sistema BIM, através do desenvolvimento de uma construção (customização de um aplicativo de modelagem), com a consequente verificação de sua funcionalidade em aplicação junto a projetistas externos à pesquisa.

### 3. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

#### 3.1. Contextualização

Alguns dos aspectos mais relevantes no uso da informática aplicada ao projeto são a visualização tridimensional, a simulação e a virtualidade. A evolução da informática, com o aumento substancial das prestações oferecidas pelas placas de vídeo, da memória RAM e do processador, possibilitou o início dos projetos desenvolvidos em três dimensões e a automatização da informação. Essa automatização permitiu o desprendimento da perda de tempo em tarefas pouco criativas e tediosas (ORCIUOLI, 2010).

O processo BIM existe desde fins da década de 80, quando Jerry Laiserin – um arquiteto da Universidade de Princeton (EUA), especialista em Tecnologia da Informação (TI), deu origem à IAI (International Alliance for Interoperability, atual BuildingSMART International), em razão de suas pesquisas na área de TI e interoperabilidade. Em 1987, foi lançado na Hungria o *software* ArchiCAD, da *Graphisoft*, o primeiro *software* com ferramentas BIM. A partir de então, aconteceram diversas iniciativas individuais de arquitetos americanos, europeus e asiáticos (ADDOR *et al.*, 2010).

Nos Estados Unidos, o tema ganhou destaque como tópico de amplo interesse quando o relatório do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) apontou o fracasso de processos e ferramentas atuais (dados 2D, não integrados) para a transparência e uso das informações necessárias ao longo da vida útil da construção. O custo para que esse sistema ineficaz pudesse adequadamente dar suporte às necessidades de troca de informações e fluxo de trabalho foi colocado em 15,8 bilhões de dólares, anualmente, incluindo gastos na construção e manutenção pós-ocupação. O estudo abordou edifícios comerciais, industriais e institucionais realizados em 2002 (NBIS, 2007; EASTMAN *et al.* 2008). Nesse contexto, é importante diferenciar a tecnologia BIM da representação CAD (*Computer Aided Design*) 2D e 3D.

Em princípio, o CAD foi pensado como uma ferramenta de desenvolvimento de produtos com rotinas capazes de auxiliar a concepção, produzir representações, executar análises, prever comportamentos e gerar instruções para a fase de produção, em um ambiente integrado de projeto. Porém, devido ao baixo poder de processamento dos primeiros computadores e a enorme complexidade das atividades envolvidas no projeto de produtos, inclusive a fase de concepção, o potencial dos sistemas CAD foi reduzido, ficando seu nome melhor traduzido como *Computer Aided Drafting*, já que a sua influência sobre o desenvolvimento de produtos limitou-se a de uma prancheta de desenho virtual (AYRES, 2009).

Os sistemas CAD geram arquivos que consistem principalmente de vetores, tipos de linhas associadas e camadas (*layers*) identificadas. À medida que esses sistemas foram se desenvolvendo, tornou-se possível, ainda, a adição de blocos de dados e textos associados, além da modelagem 3D. Por outro lado, o BIM se caracteriza pela modelagem paramétrica e pela interoperabilidade, incluindo ferramentas, processos e tecnologias, baseados em documentação digital sobre uma edificação, sua eficiência, seu planejamento, sua construção e, posteriormente, sua operação (EASTMAN *et al.* 2008).

O conceito de BIM e suas principais características serão apresentados a seguir.

### 3.2. Conceito e características

O BIM pode ser definido como a criação e uso de informação computacional coordenada e consistente sobre o projeto de uma edificação – informação paramétrica usada para tomada de decisões em projeto, produção de documentação de alta qualidade, previsão do desempenho da edificação, estimativa de custo e planejamento de obra (KRYGIEL; NIES, 2008).

Assim, consiste em uma metodologia para gerenciar os projetos e seus principais dados, em formato digital, ao longo do ciclo de vida de uma construção (PENTTILÄ, 2006 *apud* SUCCAR, 2009).

A partir do modelo BIM, é possível acessar uma série de informações que permaneceriam ocultas ou se perderiam em processos tradicionais, reunidas em uma única fonte de dados, que inclui dois componentes principais:

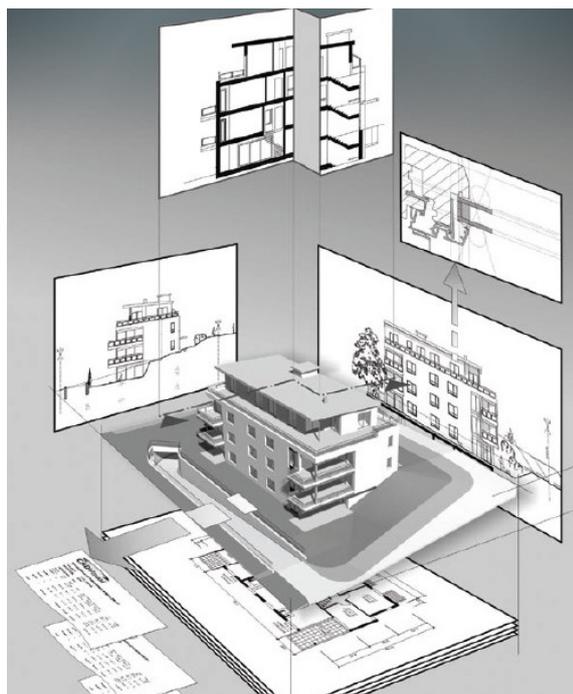
- a) Uma reprodução gráfica tridimensional da geometria da construção (modelo), de onde é possível extrair os desenhos técnicos em 2D;
- b) Um banco de dados integrado, no qual todas as informações, propriedades, relações e apresentações são armazenadas (parâmetros).

A figura 5 ilustra de que forma esses componentes se relacionam entre si. A partir da reprodução gráfica tridimensional são extraídos os desenhos técnicos em 2D, como plantas, cortes, fachadas e detalhamentos, além das informações referentes a cada objeto do modelo, utilizadas em forma de tabelas, quadros e quantitativos.

A modelagem paramétrica consiste na representação computacional de um objeto construído com entidades, cujos atributos podem ser fixos ou variáveis. Os atributos fixos são denominados como controlados e os atributos variáveis podem ser representados por parâmetros e regras, de forma a permitir que objetos sejam automaticamente ajustados de acordo com o controle do usuário e a mudança de contexto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009a).

Dessa forma, é possível representar os componentes da edificação por parâmetros e regras que determinam tanto sua geometria quanto propriedades e características não-geométricas. Os elementos de representação não são apenas linhas, planos e volumes, mas objetos associados entre si e a informações adicionais que os caracterizam, como dimensões, materiais e quantitativos, denominadas **parâmetros**.

Figura 5 – Representação dos elementos gráficos que integram um modelo BIM.



Fonte: BIM Products Ltd, 2008

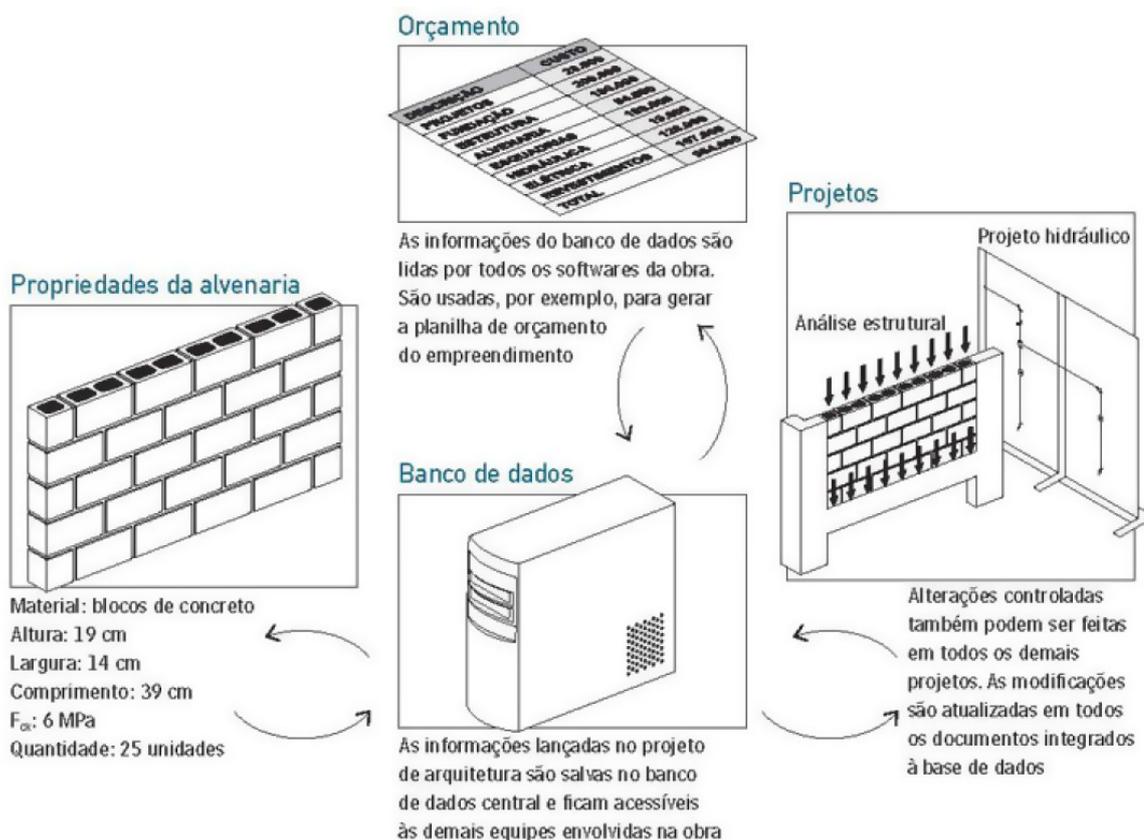
A **interoperabilidade** envolve a capacidade de identificação e troca de dados e informações necessários para serem passados entre aplicativos, permitindo aos profissionais de diversas disciplinas trocarem ou agregarem informação de maneira colaborativa e ágil (RUSCHEL *et al.*, 2010).

Ela é possível através do mapeamento da estrutura interna de dados de cada aplicativo participante para um modelo de dados universal e vice-versa. Se o modelo de dados universal empregado for aberto, qualquer aplicativo pode participar do processo de mapeamento, tornando-se, assim, compatível com qualquer outro aplicativo que também participe do processo. A interoperabilidade elimina a prática onerosa de integração entre aplicativos (e versões) diferentes e se aplica à visão dos padrões internacionais de tecnologia aberta e neutra, ou seja, a de permitir um fluxo de informações eficiente durante o ciclo de vida completo do edifício (NBIS, 2007).

Assim, como é possível observar na figura 6, as informações do projeto são armazenadas em um banco de dados único, acessível para todas as equipes. Como os projetos e

seus documentos referentes estão todos interligados em um modelo paramétrico, depositado nesse banco de dados único, as alterações são controladas e atualizadas simultaneamente para todas as disciplinas envolvidas (arquitetura, estrutura, instalações, etc.).

Figura 6 – Representação esquemática dos elementos que compõem o sistema de dados integrado do modelo BIM, a partir de um banco de dados único.



Fonte: Revista Técnica N° 127, 2007

Porém, para que se tenha uma boa interoperabilidade é de fundamental importância a implementação de um padrão de protocolo internacional de trocas de dados nos aplicativos e nos processos do projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009b).

Segundo Kiviniemi *et al.* (2008), para que um compartilhamento de informações seja possível, deve-se atentar para três fatores:

- Um formato de troca, definindo como compartilhar a informação;
- Uma biblioteca de referência, para definir que informação será compartilhada;
- Os requisitos de informação, definindo quando cada informação será compartilhada.

A atual *BuildingSmarts International* contempla tais requisitos, respectivamente, pelo desenvolvimento dos seguintes produtos: modelo IFC (*Industry Foundation Classes*), formato de

dados comum entre diferentes aplicativos; IFD (*International Framework for Dictionaries*), dicionário que define o vocabulário a ser aplicado nos dados, com suporte internacional para diferentes idiomas; IDM (*Information Delivery Manual*). Para expandir a utilização do modelo IFC e melhorar a comunicação entre as etapas da construção, o desenvolvimento de *softwares* deve atender aos três requisitos. (BSI, 2011a; KIVINIEMI *et al.*, 2008)

O IFC é definido pela *BuildingSMART International* (2011b) como uma especificação aberta de dados BIM que é trocada e compartilhada entre vários participantes em uma construção de obra ou gerenciamento de projeto, sendo, assim, seu padrão internacional para *openBIM* (BIM aberto). Essa especificação consiste em um esquema de dados, representado na linguagem EXPRESS, e dados de referência, representados como definições de propriedade XML e definições quantidade.

Atualmente na versão 2x4, o IFC vem sendo desenvolvida desde 1996, com a intenção de permitir o intercâmbio de informações sobre todos os aspectos de uma edificação, para todas as fases do projeto, da concepção à operação. A fim de reivindicar seu cumprimento, os fornecedores de *software* devem passar por um processo de certificação realizado pelo grupo de suporte de implementação da *BuildingSMART International*, que testa e certifica a implementação do IFC (BSI, 2011a; KIZILTAS *et al.*, 2010).

Segundo Ruschel *et al.* (2010), a modelagem paramétrica e a interoperabilidade permitem que sejam gerenciadas as informações do projeto ao longo de todo seu ciclo de vida. O projeto se torna um protótipo virtual do empreendimento, considerando aspectos e dimensões físicas, de custo, de desempenho e de tempo, entre outras, possibilitando a realização de avaliações e análises prévias.

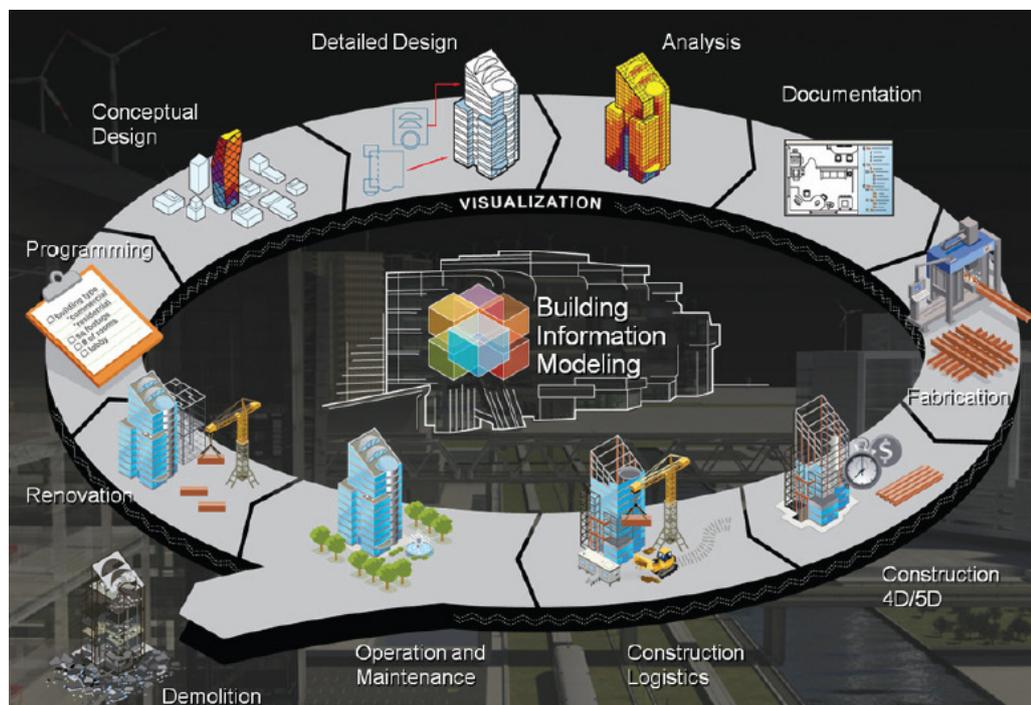
O objetivo do BIM é gerar um modelo virtual da edificação, onde uma realidade futura pode ser simulada, contendo informações relevantes, relativas ao projeto e aos processos, o que permite um maior controle sobre o empreendimento e a integração entre seus diferentes agentes.

O enriquecimento desse modelo com todos os tipos de informação permite um banco de dados capaz de tornar os processos de gerenciamento melhores e mais consistentes, mesmo após a execução da edificação.

A figura 7 representa como o modelo BIM pode ser utilizado ao longo das diversas fases do ciclo de vida da edificação, incluindo projeto, execução, operação e manutenção, renovação e/ou demolição. Considerando estar trabalhando com uma representação virtual da edificação tal qual a prevista para ser construída, é possível gerar simulações tanto no que diz respeito ao seu desempenho, como à sua execução (logística de canteiro), além de permitir a

extração de dados mais precisos para quadros quantitativos e fabricação de peças. O modelo deixa de ser apenas 3D e passa a integrar duas novas dimensões: o tempo (4D) e o custo (5D).

Figura 7 – Representação esquemática de como o modelo BIM pode ser utilizado nas diversas etapas do ciclo de vida da edificação.



Fonte: <http://buildipedia.com/in-studio/design-technology/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>

### 3.3. Potenciais do BIM

É possível alcançar diversos benefícios e reduções de custo através do BIM, durante todas as fases do processo da construção, percebidas de formas diferentes entre os diversos agentes envolvidos.

No que diz respeito ao projeto e à execução da obra, destacam-se (BIM PRODUCTS LTD, 2008):

- a) Com a integração e melhor visualização das informações, os processos se tornam mais transparentes, facilitando a tomada de decisões;
- b) Há o aumento na colaboração e integração dos agentes, devido à padronização do banco de dados, acessível a todas as equipes, o que facilita o fluxo e a visualização de informações;
- c) As consequências das propostas e mudanças posteriores são previstas de forma mais rápida e clara, inclusive no que diz respeito à eficiência da edificação e aos custos;

- d) A construtibilidade e os processos de execução podem ser considerados e antecipados pelos projetistas.

Uma pesquisa realizada pela *McGraw Hill Construction* (2010) com usuários de BIM na França, Alemanha e Reino Unido aponta como maiores benefícios:

- a) Melhora do entendimento geral sobre as intenções do projeto;
- b) Melhora da qualidade geral do projeto;
- c) Reduzir mudanças durante a construção;
- d) Ciclos de aprovação mais rápidos por parte dos clientes;
- e) Melhor controle e previsão de custo;
- f) Reduzir números de pedidos de informação.

Kymmell (2008) resume os benefícios do BIM sob três princípios básicos: visualização, colaboração e eliminação. A visualização se refere à melhoria da compreensão pessoal do indivíduo a partir do uso do modelo, estimulando o pensamento sobre as necessidades do projeto e ajudando na sua descrição. A colaboração diz respeito ao encorajamento e facilitação de uma ação cooperativa por parte de toda a equipe. Por fim, a eliminação consiste em benefícios relativos ao projeto, como redução de conflitos, de perdas e de riscos.

### **3.3.1. Entrega integrada do projeto (IPD)**

Mattews e Howell (2005) destacam quatro problemas característicos da abordagem de contrato tradicional:

- a) A retenção de boas idéias para momentos oportunos, como vantagem competitiva entre as diferentes equipes envolvidas num mesmo projeto;
- b) As fronteiras comerciais envolvidas no contrato limitam a cooperação e a inovação;
- c) Incapacidade de coordenação das diversas equipes por falta de planejamento e comprometimento coletivo;
- d) A lei do “cada um por si”, onde cada equipe subcontratada defende seus próprios interesses, em detrimento do produto final, resultado do trabalho coletivo.

Visando à superação desses problemas, surge uma nova abordagem, onde cada equipe envolvida no processo de projeto compartilha das responsabilidades de todo o empreendimento, para o alinhamento de interesses, objetivos e práticas.

O modelo de entrega integrada de projeto (*integrated project delivery – IPD*) é definido pelo *American Institute of Architects – AIA* (2007) como uma estratégia de entrega de projeto que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas em um processo

colaborativo que explora os talentos e idéias de todos os participantes. Suas principais características são:

- a) Processos de alta colaboração que englobam projeto, construção e entrega;
- b) Aproveitamento antecipado das contribuições individuais de cada especialista;
- c) Compartilhamento aberto de informações entre os envolvidos no projeto;
- d) O sucesso da equipe ligado ao sucesso do projeto, com compartilhamento de riscos e recompensas;
- e) Tomada de decisão baseada no valor;
- f) Utilização total de recursos e apoios tecnológicos.

A colaboração encoraja a equipe a compartilhar as decisões de projeto ao longo do processo, ao contrário de passar adiante os problemas ao final de cada etapa. Essa colaboração deve continuar na fase de construção, onde a falta de coordenação tradicionalmente causa uma grande quantidade de retrabalho (KYMMEL, 2008).

Porém, para que seja possível a implementação do IPD, é interessante que novas estratégias de comunicação e compartilhamento de dados sejam adotadas, com destaque para o BIM.

Como o BIM é uma ferramenta de documentação e uma tecnologia de colaboração e integração, atua como veículo para que as equipes do IPD agrupem seu capital intelectual. A partir da implementação efetiva do BIM, é possível construir virtualmente, antes de fisicamente, revelando problemas de sequência, interferência e construtibilidade (THOMSEN, 2008).

Zhang e Guangbin (2009) afirmam que o BIM funciona como um catalisador do processo do IPD, pois atua como uma plataforma de colaboração ao longo do processo de projeto e construção. Paralelamente, o IPD derruba o ambiente fragmentado tradicional da indústria da construção, possibilitando um ambiente onde o BIM pode desenvolver todo seu potencial. Os autores destacam, ainda, alguns aspectos através dos quais o BIM pode apoiar o processo do IPD:

- a) A melhor visualização e compreensão do projeto através do modelo 3D, que facilita a comunicação;
- b) A utilização do modelo BIM em ferramentas de análise (estrutura, conforto, etc.), com a automatização e redução de tempo em alguns processos;
- c) A automatização da geração de documentação, possível com o BIM, que otimiza atividades antes manuais e disponibiliza mais tempo para outras etapas do projeto, como a discussão de idéias e a fabricação de componentes;
- d) A detecção de conflitos entre projetos e o aumento da precisão com o uso de coordenadas, o que reduz de forma significativa os erros e conflitos entre desenhos;

- e) A possibilidade do fluxo de informações ser feito de forma contínua: enquanto o BIM é utilizado como repositório único de toda a informação gerada ao longo do projeto, o IPD garante que os envolvidos mantenham um relacionamento estável mesmo entre diferentes organizações.

Por outro lado, Succar (2009) reforça o IPD como o estágio final da implementação do BIM quando apresenta seus diversos estágios de maturidade, que tem início no Pre-BIM, momento em que a indústria da construção ainda utiliza documentação 2D para representar uma realidade 3D, não prioriza práticas colaborativas, e possui fluxo de trabalho linear. Já o estágio do IPD é caracterizado como uma indústria da construção de tecnologia totalmente integrada e automatizada, trazendo o conceito de modelo “nD”: utilização paralela do modelo da construção para diferentes análises e avaliações, o que permite aos diferentes envolvidos no processo experimentar o edifício, não apenas em um ambiente visual, mas em um rico sistema interativo de informações.

Assim, espera-se melhorar os resultados do projeto, aumentar o valor para o contratante, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases (concepção, fabricação e construção) (AIA – 2007).

O projeto do *Sutter Medical Center Castro Valley* (SMCCV) (figura 8), um hospital de 130 leitos localizado na Califórnia (EUA), mostrou-se um exemplo de aplicação prática das estratégias do IPD e BIM conjuntamente, apresentando resultados consideravelmente positivos. A necessidade de um novo hospital surgiu devido a uma nova lei de segurança contra abalos sísmicos que passou a exigir que todo hospital no Estado tivesse segurança estrutural suficiente para permanecer em serviço ininterrupto, mesmo atingido por terremotos de grandes proporções. A estratégia escolhida incluiu a utilização de um modelo 3D multidisciplinar, totalmente coordenado e o adiamento da geração de documentos em papel o quanto possível para produzi-los com o mínimo de retrabalho.

A equipe estava determinada a usar a troca direta de informações digitais, re-utilizando o modelo digital para outras etapas da obra, como estimativas e fabricação de peças. Também se buscou permitir acesso em tempo real a todas as informações do projeto, independentemente da localização de autoria, quantidade, ou tamanho do arquivo, através da implementação de *softwares* de gerenciamento de informação e controle de documento.

Deve-se salientar que foram utilizadas ferramentas do *lean construction* (construção enxuta), como o Mapeamento de Fluxo de Valor, que identifica atividades que adicionavam ou não valor ao longo do processo, o que permite um fluxo de informação e material mais eficaz, maximizando o valor para o cliente final e reduzindo desperdícios.

Um dos principais elementos do IPD aplicados a esse projeto foram as reuniões realizadas com toda a equipe do projeto pelo menos duas vezes por semana, ficando aqueles que não podiam participar pessoalmente, conectados remotamente, quando necessário.

Os resultados são colocados por Khemlani (2009), com destaque para a redução do tempo previsto do projeto estrutural de 15 para 8 meses, além de não ter havido nenhum aumento relativo de custo até o momento, com o projeto sendo realizado em melhor qualidade e em um ritmo mais acelerado.

O projeto teve início em 2008 e prevê o término da obra para 2013, já tendo sido vencedor de prêmios como o *Tekla Global BIM Awards 2010* (nas categorias projeto e votação popular) e o FIATECH (*Fully Integrated and Automated Technologies*) CETI (*Celebration of Engineering & Technology Innovation*) Award de 2008.

Figura 8 – Imagem renderizada do modelo virtual do novo SMCCV.



Fonte: [http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/Sutter\\_IPDCaseStudy.html](http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/Sutter_IPDCaseStudy.html)

### **3.3.2. Customização em massa**

O desenvolvimento da revolução da informática também trouxe mudanças quanto à customização em massa, através da geração de um novo modelo industrial, onde a linha de montagem pode criar milhares de variações diferentes do mesmo produto. Duarte (2007) denomina essa possibilidade como personalização da habitação em série.

Na era Pré-industrial, a construção de grandes e complexos edifícios era um processo lento e laborioso que, às vezes, a exemplo das catedrais medievais, se estendia ao longo de décadas ou mesmo séculos. Com a Revolução Industrial, os arquitetos descobriram a possibilidade

de produzir eficientemente estruturas em larga escala, tais como arranha-céus, fábricas e projetos de habitação em massa, reduzindo sua complexidade e se utilizando extensivamente da padronização. O surgimento de rápidos dispositivos de produção assistidos por computador reduziu a necessidade dessa simplificação. Hoje, o projeto assistido por computador e a tecnologia de fabricação permitem a construção rápida e de baixo custo, de edificações com grande porte e alta complexidade (MITCHELL, 2004).

Assim, o desenho paramétrico e a automação de funções permitem um futuro que contemple a fabricação digital, a customização e a personalização. A procura de uma solução única e universal, base da Revolução Industrial e do Movimento Moderno, é substituída pela multiplicidade e pela particularidade (ORCIUOLI, 2010).

Pupo (2011) coloca que a introdução do processo digital durante a formação do arquiteto não vem como substituto da sua capacidade produtiva ou de sua mente criativa e destaca a utilização de tecnologias de prototipagem e fabricação digitais como possibilidades para reduzir a dependência a projetos e construções standardizados. Ambas as terminologias referem-se a métodos que permitem a transição do modelo digital para o físico de maneira automatizada. Porém, a primeira diz respeito à produção de maquetes, em escala reduzida ou 1:1, enquanto a segunda inclui técnicas destinadas à produção de fôrmas e peças finais de edifícios.

Já o modelo digital, traz a modelagem paramétrica (ver item 3.2) como diferencial fundamental para esse processo de customização em massa. Como cada elemento do modelo é interrelacionado, todos são automaticamente atualizados conforme é feita uma alteração de valores. Em comparação ao desenho tradicional, em que cada alteração torna necessário recomeçá-lo do começo, a modelagem paramétrica torna rápida a produção de modelos alternativos. Variações sobre um mesmo modelo tornam-se possíveis e rápidas (ARQUITETURA E URBANISMO, 2009).

Segundo Orciuoli (2009), um projeto arquitetônico acaba determinando as partes de um todo, logo, em muitos casos, mais que a necessidade da definição de medidas exatas, se define as relações que as partes devem guardar entre si. Portanto, definem-se parâmetros. Destaca-se que, na computação gráfica, o que é visto como imagem (gráfico) no monitor é uma série de vetores, determinados por pontos no espaço cartesiano, equações matemáticas, aplicações de cores. O que o computador apresenta é a representação de maneira gráfica de um arquivo que poderá ser aberto com um simples editor de texto. Com o uso dos parâmetros, a manipulação de toda informação vai além da pura representação, podendo também ser construída.

Nesse contexto, insere-se, ainda, o formalismo conhecido como gramática da forma<sup>9</sup> (*shape grammar*), que, apesar de visar inicialmente a um sistema de geração de formas para a pintura e a escultura, logo foi percebida com potencial para o estudo de linguagens arquitetônicas e geração de diversos indivíduos com semelhanças entre si. Uma gramática da forma é definida pelos seguintes elementos (CELANI *et al.*, 2007):

- a) Vocabulário de formas – conjunto finito de formas primitivas que farão parte da gramática;
- b) Relações espaciais – combinações espaciais desejadas entre as formas primitivas do vocabulário;
- c) Regras – a partir das relações espaciais são definidas regras de transformação do tipo  $A \rightarrow B$  (ao encontrar A, substitua por B). Essas regras podem ser do tipo aditivas ou subtrativas;
- d) Forma inicial – para dar início à aplicação das regras, é necessário selecionar uma forma inicial, pertencente ao vocabulário de formas.

O reconhecimento ou criação de uma gramática da forma para posterior aplicação em modelos virtuais paramétricos surgem como possibilidade para a geração automática de diversos indivíduos semelhantes (tipos), estratégia interessante para a customização em massa.

Dessa forma é possível observar como o desenho paramétrico e a automação, característicos do BIM, podem trazer novas possibilidades à customização em massa, principalmente se associados a outras estratégias de entrada e saída de dados, além de reconhecimento e criação de regras a serem transformadas em parâmetros.

### 3.4. Desafios para a implantação do BIM

Embora os potenciais sejam visíveis, a implantação do BIM traz novos desafios, inclusive na concepção do projeto, visto que essa nova tecnologia não se resume a uma forma de representação posterior às atividades de criação, mas modifica a própria dinâmica de projetar.

Através da modelagem paramétrica, os diversos projetistas inserem suas informações em objetos ou elementos, além de regras que definem seus padrões de comportamento, criando conjuntos lógicos que podem ser atualizados automaticamente. Com a utilização do BIM, faz-se necessário o envolvimento de todas as disciplinas presentes no empreendimento, pois cada grupo

---

<sup>9</sup> Desenvolvida no início da década de 70 por George Stiny e James Gips (1972), consiste em um sistema de geração de formas baseado em regras, apresentando suas origens no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do linguista Noam Chomsky (1957).

deve disponibilizar suas imagens e lógicas particulares, para que sejam associadas nas possíveis soluções do problema projetual. O fluxo dessas informações deve acontecer de forma contínua, como uma discussão simultânea de todos os envolvidos no processo de projeto em busca de uma solução única. Além disso, com a criação do protótipo virtual a ser utilizado na gestão do projeto em todo seu ciclo de vida, tem-se uma ampliação da percepção do problema e da elaboração de imagens para possíveis soluções, através de análises e simulações que podem ser retroalimentadas (RUSCHEL *et al.*, 2010).

A mudança de paradigmas se torna mais clara quando se observa que os modelos tradicionais de processo de projeto de arquitetura sugerem a elaboração de projeto de uma forma sequencial, na qual uma etapa se inicia após a finalização da anterior, sem a interação entre os diversos agentes, devido à ausência de comunicação e coordenação entre as atividades (ITO, 2007).

Para compreender melhor as oportunidades e desafios gerados no processo de implementação do uso do BIM, é interessante identificar seus estágios de desenvolvimento, propostos por Tobin (2008). O processo é classificado em três gerações, analisadas a seguir:

- a) BIM 1.0: os aplicativos baseados em objetos paramétricos surgem em um cenário onde se trabalha com o CAD tradicional, apresentando como vantagens uma melhor coordenação de informações e produção mais rápida de documentos técnicos. A tecnologia é utilizada apenas como uma ferramenta, pois o processo de trabalho ainda é individualizado, restrito ao projetista, sem envolvimento e colaboração de outras disciplinas (ANDRADE; RUSCHEL, 2009a);
- b) BIM 2.0: tem início quando a tecnologia BIM é expandida para profissionais de outras disciplinas, modificando a situação do projetista que, agora, deve trabalhar com grupos que percebem diferentes possibilidades e exigem diferentes tipos de desempenhos para um mesmo produto final. Os modelos virtuais passam a englobar aspectos como tempo (4D) e custo (5D), permitindo análises e simulações do projeto, mesmo em suas etapas iniciais. A interoperabilidade surge como termo essencial e o BIM deixa de ser apenas uma ferramenta de representação para se tornar um processo de trabalho;
- c) BIM 3.0: a interoperabilidade proposta na fase anterior torna-se possível através de protocolos abertos, tais como o IFC e os protocolos elaborados pela *BuildingSmart*, que permitem aos profissionais o desenvolvimento colaborativo de um modelo de dados que pode ser considerado um protótipo completo da construção do edifício. (COELHO; NOVAES, 2008). Tobin (2008) destaca que, apesar de à primeira vista

parecer um cenário idealista, o ambiente de trabalho do BIM 3.0 se desenvolveria em um banco de dados acessível, através da internet, para todos os agentes envolvidos no empreendimento, de forma que pudessem compreender como contribuir coletivamente, dentro das especificidades de suas disciplinas.

No Brasil, a introdução das novas tecnologias de informação nos escritórios de arquitetura, que ocorreu principalmente nos anos 90, não trouxe grandes avanços na integração multidisciplinar do projeto ou na integração com os processos de produção do edifício. Inicialmente, houve uma tendência de substituir a prancheta pelo computador, sem a preocupação de se alterar os procedimentos de projeto. A inovação, que poderia melhorar a prática e o desempenho do projeto, desestabilizou os procedimentos habituais e prejudicou o conhecimento acumulado pela experiência anterior (CONTIER; KOURY, 2008).

As pesquisas realizadas no país apontam um cenário de geração BIM 1.0, visto que não existem publicações consistentes sobre estudos de casos e, embora a difusão do BIM tenha aumentado recentemente, a tecnologia ainda está numa fase inicial de implantação. Apesar da recorrência de temas envolvendo sua aplicação em projetos de arquitetura, a colaboração e a interoperabilidade, destaca-se a necessidade de aprofundamento de pesquisas relacionadas ao BIM num contexto mais amplo do ciclo de vida das edificações, questões relativas à normatização e ferramentas e padrões BIM adequados à realidade brasileira (ANDRADE; RUSCHEL, 2009a; CHECCUCCI *et al.*, 2011).

No que diz respeito às empresas brasileiras, já são encontrados casos onde se estuda a implantação da tecnologia para o uso de coordenação de projetos em equipes multidisciplinares e inclusão de aspectos como orçamento e gestão de obra, o que caracterizaria a geração BIM 2.0. Porém, os processos ainda se encontram em etapas iniciais como capacitação de equipes e aplicação de projeto piloto, para o levantamento dos futuros desafios a serem superados (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2011).

Assim, como em toda mudança de conceito, esse salto tecnológico não é simples. A nova tecnologia tem encontrado resistência, principalmente entre projetistas de hidráulica, elétrica e estrutura, fato apontado pelos arquitetos como o entrave ao uso pleno do sistema. Acerca desse cenário, a matéria da revista *Arquitetura e Urbanismo* (2011a) coloca:

“A falta de intercâmbio de informações modeladas entre as diversas especialidades impede uma rápida e eficiente compatibilização, importante promessa da plataforma BIM. E como o mercado funciona em cadeia, enquanto arquitetos aguardam a adoção dessa tecnologia por outros especialistas, forma-se uma espécie de círculo vicioso que cria uma falsa barreira ao início de migração para o BIM.”

Diante desse desafio, um fator importante é a estruturação de uma nova nomenclatura única, capaz de descrever cada ação, cada agente e cada componente do processo construtivo de maneira que possam ser reconhecidos e reinterpretados pelos diversos programas e participantes do processo. Para tanto, um passo importante foi a elaboração da ABNT NB 12006 (ABNT, 2010), que normaliza os modelos de informação na construção civil brasileira, a partir da norma ISO 12006-2. Esse trabalho vem sendo realizado desde 2009 por um grupo formado por agentes da própria cadeia produtiva, sob coordenação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), buscando normalizar a classificação de componentes e materiais da construção, tendo como referência o padrão *Omniclass Construction Classification System* (Omniclass, 2006), além da própria ISO 12006-2 e normas brasileiras correlatas (NARDELLI, 2010).

A norma da ABNT NBR ISO 12006-2: 2010 (Construção de edificação — Organização de informação da construção. Parte 2: Estrutura para classificação de informação) traz em seu texto a seguinte justificativa para a necessidade de sua criação:

“Os modernos sistemas informatizados do setor de construção, sejam locais ou em rede, precisam processar dados de muitos tipos diferentes, por exemplo, dados geométricos, propriedades técnicas, dados de custo, dados de manutenção, etc., para uso em diferentes aplicações, como CAD, especificação, sistemas de informações sobre produtos e custos. Todos estes dados e as relações entre eles devem ser definidos e estruturados de forma tal que a informação armazenada seja consistente e confiável dentro das diferentes aplicações e também entre elas.”

No cenário brasileiro, deve-se destacar, ainda, o papel das universidades para a formação de mão-de-obra devidamente qualificada quanto aos novos conceitos e tecnologias que o BIM representa. Para tanto, algumas questões são colocadas (SANTOS; BARISON, 2011):

- a) Falta de professores treinados em BIM;
- b) Falta de referências sobre BIM na língua portuguesa;
- c) Ferramentas BIM que trabalham com bibliotecas em desacordo com os padrões da realidade regional onde serão utilizadas;
- d) Necessidade de integração entre diversas áreas do currículo, cursos e departamentos;
- e) Necessidade de apoio por parte da indústria e fornecedores para achar soluções para as lacunas e carências profissionais em BIM.

Dessa forma, é possível observar que para que seja possível a utilização do BIM em toda sua potencialidade, os principais desafios a serem superados incluem: a falta de conhecimento a respeito do tema e a necessidade de um esforço coletivo por parte de todos os agentes envolvidos na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) para que tais medidas de integração e colaboração sejam implementadas.

Nesse sentido, a aplicação dos princípios da Coordenação Modular beneficiaria o BIM como um referencial dimensional comum para guiar esse ambiente de integração e colaboração, facilitando seu processo de implantação e encorajando o cenário nacional.

A criação de bibliotecas e objetos paramétricos já em acordo com a norma da ABNT NBR 15873:2010 (Coordenação Modular para edificações) é outro aspecto positivo a ser ressaltado.

O referencial teórico para o embasamento da associação de ambos os temas será apresentado no capítulo 5.

## **4. COORDENAÇÃO MODULAR**

### **4.1. Contextualização**

Os sistemas de coordenação dimensional têm sido utilizados desde a Antiguidade, tanto no Oriente, quanto no Ocidente, quando se atinge a padronização na produção de componentes construtivos, juntamente com a definição de técnicas construtivas e tipologias de edifícios construtivos. Na Europa, na década de 50, realizaram-se esforços importantes na tentativa de determinar sistemas de coordenação modular que contribuíssem na produção em larga escala de construções habitacionais, principalmente pré-fabricadas e industrializadas (LUCINI, 2001 *apud*. SANTOS *et al.*, 2007).

O Brasil foi um dos primeiros países a aprovar uma norma de Coordenação Modular, a NB-25R (1950), além de avançar em estudos e conceitos a respeito, durante a década de 70 e início dos anos 80. Porém, uma interrupção abrupta da bibliografia, a partir da década de 80, somada ao caos dimensional de grande parte dos componentes construtivos, interrompeu o processo, e poucos objetivos foram alcançados no que diz respeito à racionalização construtiva (GREVEN; BALDAUF, 2007).

A discussão sobre a Coordenação Modular foi retomada no Brasil recentemente, quando a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) propôs uma revisão de seu conjunto de normas e aprovou a NBR 15873:2010 (Coordenação Modular para edificações), visando à difusão e adoção plena da medida. Segundo a revista Guia da Construção (2009), tal iniciativa se deu como fruto do amadurecimento do setor nos últimos anos, somado aos argumentos favoráveis para o sucesso da normativa.

### **4.2. Conceito e características**

A Coordenação Modular pode ser definida como a ordenação dos espaços na construção civil (GREVEN; BALDAUF, 2007), cujo principal objetivo é a racionalização da construção; do projeto à execução (BNH, 1978).

No Brasil, essa compatibilização de elementos e componentes na construção civil é proposta por meio da coordenação de dimensões a partir de uma medida padrão, o módulo básico, cujo valor adotado foi 100 mm (ABNT, 2010).

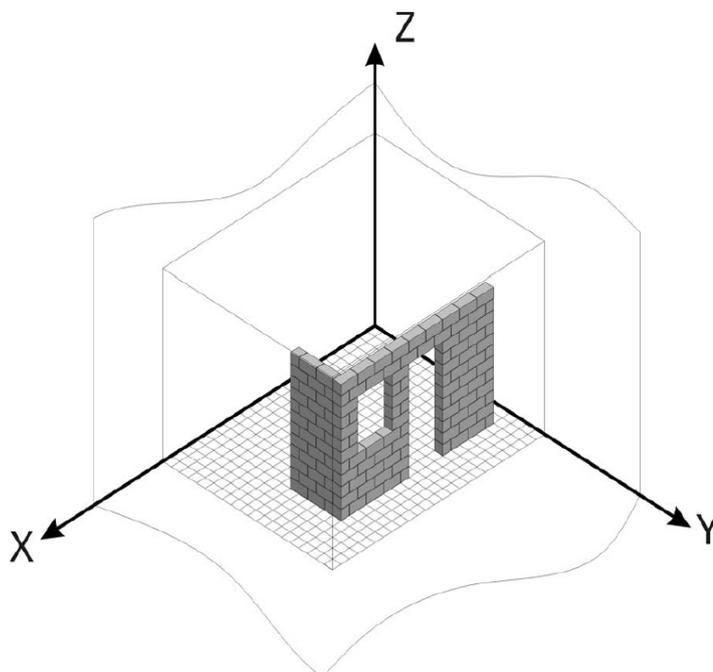
Assim, a Coordenação Modular é a técnica que permite definir e relacionar dimensões de materiais e componentes em projeto e obra por meio de medidas modulares organizadas, através de um sistema de referência (LUCINI, 2001 *apud* AZUMA, 2008).

Para tanto, são dispostos os seguintes princípios que norteiam sua estruturação:

- a) O sistema de referência modular;
- b) O sistema modular de medidas;
- c) O sistema de ajustes e tolerâncias.

O sistema de referência modular é formado por pontos, linhas e planos, em relação aos quais ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção. Tomando como base esse sistema, o projeto modular é feito sobre o quadriculado modular de referência, no qual a distância entre quaisquer ponto é igual ao módulo básico ou a um multimódulo (figura 9). Os componentes de um projeto modular são denominados “componentes modulares da construção” (BNH, 1978; ABNT, 2010).

Figura 9 – Quadriculado modular de referência espacial



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

O sistema modular de medidas é baseado no módulo básico, que, de acordo com a norma da ABNT NBR 15873:2010, consiste na “menor unidade de medida linear da coordenação modular, representado pela letra M, cujo valor normalizado é  $M = 100 \text{ mm}$ ”. Assim, o módulo básico é a unidade de medida padrão da Coordenação Modular, e o sistema modular de medidas compõe seus múltiplos inteiros (multimódulos) ou frações (incremento submodular).

O sistema de ajustes e tolerâncias inclui as juntas modulares (distância prevista entre os extremos de dois componentes) e ajustes modulares (medida que relaciona o extremo do componente à malha modular). O ajuste modular é denominado pela norma da ABNT NBR 15873:2010 como ajuste de coordenação, sendo determinado pelas folgas perimetrais exigidas por um componente em função de suas deformações (mecânicas, térmicas ou por umidade), suas

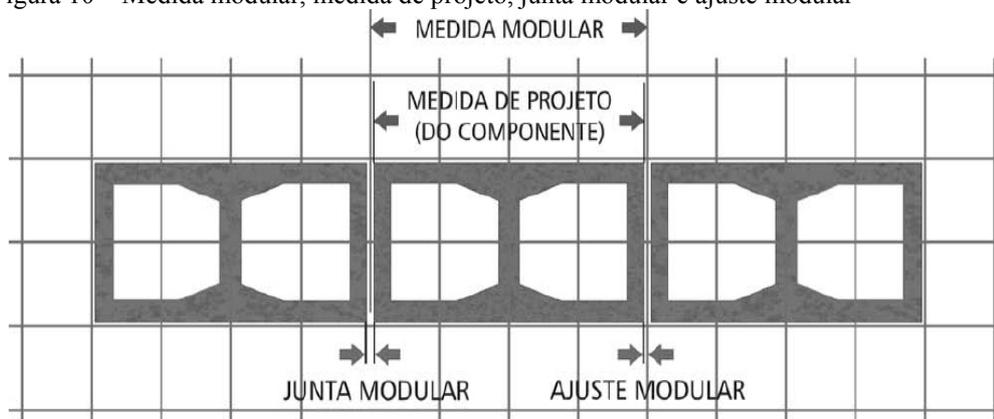
tolerâncias (de fabricação, marcação e montagem) e seus materiais de união com componentes ou elementos vizinhos.

O cálculo é simples: dado o vão, basta se informar sobre o comprimento dos componentes, estudar onde fazer as amarrações e quanto material usar (TÉCHNE, 2011).

Cada componente terá um espaço destinado a ele, que será dimensionado a partir do módulo, previsto em projeto e respeitado durante a execução. Esse espaço (medida modular) deve prever a medida do componente em si, somada aos possíveis ajustes e tolerâncias, que variam em função do tipo de componente e sistema construtivo.

Esses conceitos são ilustrados na figura 10, onde é possível observar a inserção de blocos de alvenaria no quadriculado de referência modular. A medida modular consiste no espaço destinado a cada bloco em projeto, o que abrange a medida do bloco isoladamente (medida de projeto) e os espaços necessários para a argamassa, possíveis deformações e variações da fabricação de bloco para bloco (ajuste modular). A junta modular representada na figura consiste na distância entre dois blocos, resultando na soma entre os ajustes modulares de ambos.

Figura 10 – Medida modular, medida de projeto, junta modular e ajuste modular



Fonte: Greven e Baldauf (2007)

### 4.3. Potenciais da Coordenação Modular

Como objetivos da Coordenação Modular, a norma da ABNT NBR 15873:2010 destaca a promoção da compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (definidos em projeto) e componentes construtivos (definidos pelos fabricantes), o que permite:

- a) Ampliar a cooperação entre os agentes da cadeia produtiva da construção civil;
- b) Racionalizar a variedade de medidas de coordenação empregada na fabricação de componentes construtivos;
- c) Simplificar o processo de marcação no canteiro de obras para posicionamento e instalação de componentes construtivos;

- d) Aumentar a intercambialidade entre componentes construtivos tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil da edificação.

Em termos gerais, a Coordenação Modular traz benefícios no que diz respeito ao aumento da comunicação e integração entre os agentes envolvidos na cadeia produtiva, aproximação das etapas de projeto e execução e aumento da flexibilidade de rearranjos em uma mesma edificação.

Para a etapa de execução, beneficia-se a construtibilidade, pois a utilização de componentes padronizados e intercambiáveis torna o processo uma montagem tipificada, reduzindo as necessidades de corte e as imprevisibilidades comuns ao canteiro de obras. Dessa forma, possibilita a redução de desperdícios, o aumento da produtividade e uma qualificação da indústria da construção civil (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Para a etapa de projeto, Panet *et al.* (2007) destacam a modulação como um recurso valiosíssimo, inclusive para o ensino de projeto, pois possibilita uma clara sistematização na concepção e na construção, através da ordenação racional do espaço e de seus componentes.

Em matéria na revista *Téchne* (2011), Cláudio Oliveira Silva, gerente de área de indústria da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), coloca:

“A intenção não é padronizar projetos, mas trazer a eles uma unidade de medida que harmonize todas as suas interfaces, evitando retrabalhos, incompatibilidades, geração excessiva de resíduos na obra, quebras de material com custos aumentados e outros inconveniente.”

Assim, o que pode parecer uma “mordação” ao trabalho dos arquitetos a princípio, na verdade lhe serve de aliado, inclusive como detentor da tomada de decisões, antes deixadas para o momento da execução.

Combes e Bellomio (1999) também defendem que, apesar dos objetos modulares serem considerados de menor valor, devido à sua associação a processos repetitivos, tediosos e sem vida, curiosamente, a vida orgânica é altamente modular, composta por sistemas repetitivos de alguns poucos elementos básicos. O método de combinação desses elementos consistiria, então, na base para entender sua imensa diversidade.

#### **4.3.1. Customização em massa**

Nesse contexto, a modulação também se apresenta como idéia chave e estratégia interessante para a customização em massa, principalmente voltada para a produção de habitações. Os produtos são “decompostos” em componentes modulares ou subsistemas que podem ser recombinados de forma a satisfazer as necessidades do cliente o mais próximo possível (HUANG *et al.*, 2006).

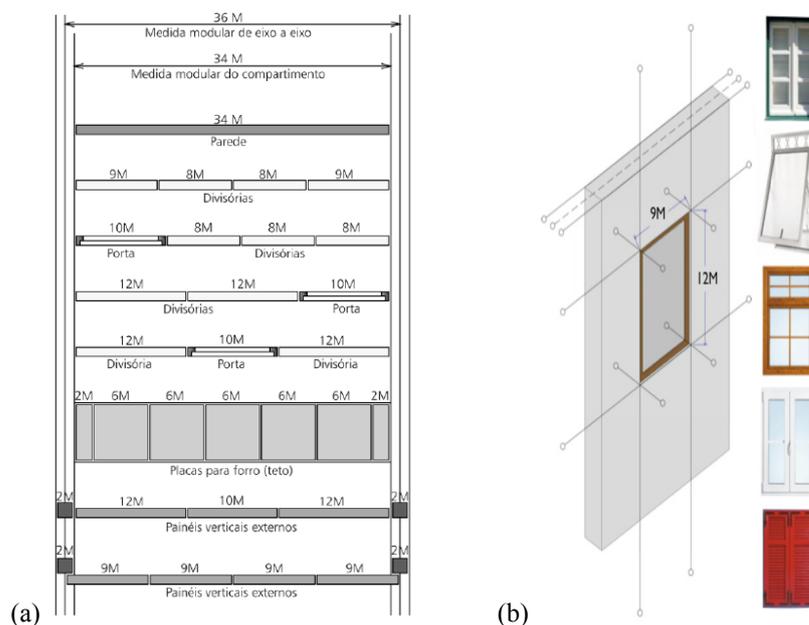
Para ser modularmente coordenado, um componente deve atender a três critérios básicos (GREVEN; BALDAUF, 2007):

- a) Seleção – reduz a variedade de tipos, simplifica as linhas de produção e facilita a estocagem;
- b) Correlação – define as relações de reciprocidade que facilitam a disposição dos componentes;
- c) Intercambialidade – já mencionada, assegura as condições que facilitam a montagem, estabelecendo critérios e normas para ajustes e tolerâncias.

Tais critérios garantem as condições de adição e combinação, necessárias para a geração de soluções diferentes em larga escala.

Exemplos são ilustrados na figura 11, que demonstra como a combinação de componentes modulares permite o aumento da flexibilidade na geração, e posteriores alterações, de soluções construtivas.

Figura 11 – Exemplos de intercambialidade entre componentes construtivos em sistemas modulados.



Fontes: (a) Greven e Baldauf (Coleção Habitare, 2007); (b) Grupo de Pesquisa MOM – UFMG

A figura 11a demonstra como em um mesmo vão de medida modular é possível acomodar diferentes soluções de vedações, desde uma parede única a várias divisórias, de materiais e dimensões diversos.

A figura 11b apresenta um mesmo vão de abertura com opções de esquadrias diversas em materiais e modelos, desde que todas seguindo a mesma medida modular.

Santos *et al.* (2007) também reforçam a customização como possível vantagem trazida pela aplicação da Coordenação Modular, ao favorecer a intercambialidade e, conseqüentemente, a redução de problemas nas interfaces entre componentes e subsistemas.

Richard (2007) considera um sistema composto de partes intercambiáveis como sistema aberto (*Open System*), caracterizado pela troca de partes, componentes e até subsistemas fora do seu ambiente original de produção. Dessa forma é possível oferecer mais opções para o usuário e um mercado mais amplo para os fabricantes, desde que sigam regras em termos de qualidade (critérios de desempenho), dimensões (coordenação modular) e interfaces (compatibilidade).

A fabricação em módulos depende de uma produção em massa repetitiva, porém a autonomia de cada peça gera flexibilidade, a partir do momento em que ela pode ser trocada por outra similar. Esse processo possibilita a geração de uma larga variedade de produtos finais, permitindo ao usuário final personalizar suas escolhas, resultantes da combinação de uma variedade de peças inicialmente produzidas em massa. Porém, vale ressaltar que essa estratégia necessita da antecipação de decisões importantes para as fases iniciais do projeto, no que diz respeito à decomposição do produto em partes menores e definição das relações entre essas partes (AL ARAYEDH, 2006).

#### **4.4. Desafios para a aplicação da Coordenação Modular**

Uma pesquisa realizada por Santos *et al.* (2007) com o objetivo de identificar os principais gargalos para a disseminação da Coordenação Modular no setor produtivo da construção civil destaca a falta de conhecimento sobre sua definição e o não reconhecimento apurado de seus benefícios.

Azuma (2008) complementa que a implementação de projetos modulares exige uma visão sistêmica do processo de construção, tornando necessária uma mobilização no âmbito organizacional e gerencial que inclua todos os envolvidos na construção: de projetistas a clientes.

Quanto ao cenário nacional, Greven e Badaulf (2007) colocam que o Brasil tem um longo caminho a percorrer, que deve passar por todos os intervenientes do processo construtivo, tanto em relação ao conhecimento do que se trata a Coordenação Modular, quanto em efetivar ações para sua implementação.

Um dos aspectos mencionados como prejudicial seria a diversidade e incoerência das normas relativas ao assunto, o que gerava uma maior confusão com relação à sua implantação.

Espera-se que agora, com a unificação das normas através da aprovação da norma ABNT NBR 15873:2010 surja uma maior divulgação e debate do tema que, somados ao processo de amadurecimento do setor no Brasil, podem trazer a superação de tais entraves.

Segundo a revista *Téchne* (2011), a primeira consequência da norma foi a exigência do Poder Público de só financiar, desde então, obras projetadas de acordo com os novos parâmetros, principalmente em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto, visando ao fim de quebraadeiras e desperdícios.

No contexto de desafios a serem superados, os benefícios possíveis para a implementação da Coordenação Modular, se associada ao BIM, seriam: 1) a geração automática de projetos em acordo com suas regras, através da inserção de parâmetros para tal; 2) a facilitação da visualização de como a Coordenação Modular pode ser empregada, visto que o modelo paramétrico permite a antecipação do processo de execução em uma simulação virtual; 3) a criação de um ambiente colaborativo, o que incentivaria a inclusão de todos os agentes envolvidos na obra a adotarem tal referencial dimensional.

O referencial teórico para o embasamento da associação de ambos os temas será apresentado no capítulo 6, a seguir.

## 5. ESTUDO CONJUNTO ENTRE BIM E COORDENAÇÃO MODULAR.

### 5.1. BIM e Coordenação Modular como estratégias de melhoria para a indústria da AEC.

A partir de revisão bibliográfica, buscou-se observar em que aspectos cada um dos temas, BIM e Coordenação Modular, atua como estratégia de melhoria para a indústria da AEC, a fim de se perceber semelhanças e os potenciais de benefícios de sua integração. Para tanto, fez-se, ainda, um levantamento e registro dos principais conceitos encontrados ao longo dessa revisão, apresentados nos capítulos 3 e 4.

A Coordenação Modular tem como principal estratégia a **intercambialidade**, caracterizada pela compatibilização entre elementos e sistemas construtivos, em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo decimétrico, no caso da norma brasileira (GREVEN; BALDAUF, 2007).

O BIM se caracteriza pelo uso da **modelagem paramétrica** e pela **interoperabilidade**, diferenciando-se dos antigos sistemas CAD.

A **modelagem paramétrica** consiste na representação computacional de um objeto construído com entidades que agregam suas informações através de parâmetros. Tal propriedade torna o projeto um protótipo virtual do empreendimento, representação mais próxima à realidade, facilitando a visualização e permitindo simulações.

A **interoperabilidade** envolve a capacidade de identificação e troca de dados entre diferentes aplicativos, permitindo aos profissionais de diversas disciplinas o compartilhamento de informação de maneira colaborativa e ágil.

Assim, percebe-se que ambos, BIM e Coordenação Modular, atuam através da **otimização e sistematização da informação em diferentes níveis da cadeia produtiva**, o que permite uma **maior integração e comunicação entre os agentes envolvidos** do projeto à execução, além de fornecedores e cliente final.

Tal medida possibilita como resultados positivos o aumento da **construtibilidade**, a **redução de desperdícios** e uma melhoria no processo de **tomada de decisão**.

A **construtibilidade** constitui-se em uma ação voltada para o aperfeiçoamento da habilidade que o objeto tem em ser construído e, nesse contexto, é entendida como uma ação totalmente direcionada para a racionalização da construção (SABBATINI, 1989). Em revisão bibliográfica realizada por Rodrigues (2005), o termo construtibilidade envolve tanto intervenções realizadas no projeto do produto, a fim de aumentar sua facilidade de construir, quanto no projeto do processo construtivo, através de esforços envolvendo planejamento, contratação e trabalho no canteiro. Dessa forma, uma maior integração entre os agentes e a transmissão clara e correta das

informações em todas as instâncias da cadeia produtiva são aspectos fundamentais para que se garanta a construtibilidade da edificação.

No que diz respeito à **redução de desperdícios**, entende-se por desperdício aquilo que, sendo atividade ou não atividade, gere custos, sem a adição de valor ao produto final ou serviço (ALVES, 2010). Nesse sentido, a padronização e sistematização de dados, com maior integração da cadeia produtiva, possibilitam a redução de desperdícios, tanto no sentido de serem evitadas atividades que não agreguem valor, a exemplo de correção de erros e retrabalhos, em especial na fase de projeto, como no sentido de serem evitadas perdas e cortes de materiais, na fase de execução.

O processo de **tomada de decisão** é característico da fase de projeto, porém suas consequências se estendem por todo o ciclo de vida da edificação. A metodologia de projeto, como um procedimento organizado para transportar o processo de criação a certo resultado, procura racionalizar as atividades criativas e apoiar o projetista para a solução de problemas cada vez mais complexos, uma vez que a tomada de decisão significa escolher um curso de ação entre muitas possibilidades (KOWALTOWSKI *et. al*, 2006). Alguns desafios a serem superados durante o processo são as limitações de tempo e as restrições externas, fora do controle dos projetistas, provenientes do envolvimento de outras disciplinas e agentes da cadeia produtiva. Tais fatores dificultam o lançamento de alternativas de soluções e aumentam a complexidade na tomada de decisão em projeto (WISE, 1984). Nesse contexto, a visualização e transmissão eficiente de informações, além de uma melhor comunicação entre as diferentes disciplinas, surgem como facilitadores do processo, tornando-o, ainda, mais consistente.

A partir das melhorias supracitadas, pretende-se uma maior **racionalização**<sup>10</sup> do processo construtivo e um aumento da **qualidade**<sup>11</sup> **do projeto**, o que resultaria, por fim, em interferências positivas, tanto na **produtividade** ao longo do ciclo de vida do empreendimento, quanto na **satisfação do cliente**.

Os conceitos colocados aqui como objetivos comuns entre BIM e Coordenação Modular e suas influências positivas na indústria da AEC são esquematizados na figura 12.

Elencando tais aspectos, percebe-se que as principais possibilidades de melhorias com a associação entre ambos os conceitos provém da possibilidade de otimização e sistematização de

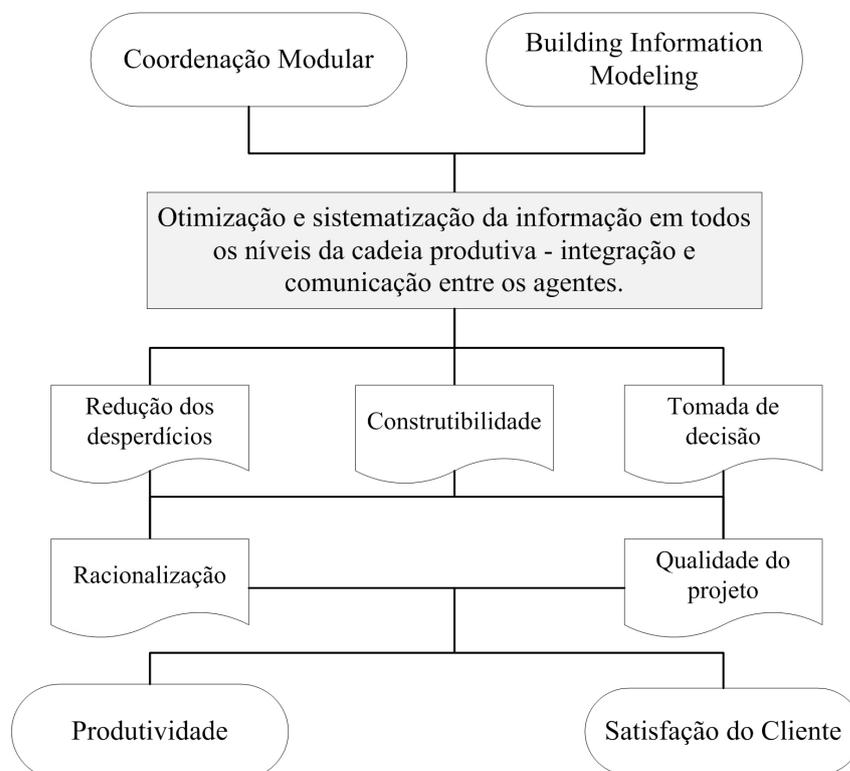
---

<sup>10</sup>Processo dinâmico que tem por objetivo a otimização dos recursos materiais, humanos, organizacionais, tecnológicos e financeiros que intervêm na construção, em todas as suas fases, se desenvolvendo e se aperfeiçoando, sistematicamente, de acordo com as características locais (BNH, 1978).

<sup>11</sup>Totalidade de características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades implícitas e explícitas do cliente final (ABNT, 1994).

informações, com conseqüente aumento da comunicação entre os agentes envolvidos na cadeia produtiva e da aproximação da etapa de projeto com a etapa de execução.

Figura 12 – Objetivos comuns entre BIM e Coordenação Modular e influências positivas na AEC.



Fonte: Autor

Os princípios da Coordenação Modular, que referenciam todas as dimensões envolvidas na obra e permitem a compatibilização de elementos, além da antecipação de decisões de execução ainda na etapa de projeto, encontrariam no modelo paramétrico do BIM um ambiente virtual compartilhado para sua aplicação e melhor visualização.

Dessa forma, sugere-se como forma de associação entre ambos os temas, a transformação dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros que possam ser aplicados ao modelo BIM.

## 5.2. Proposta de transformação dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros para o BIM

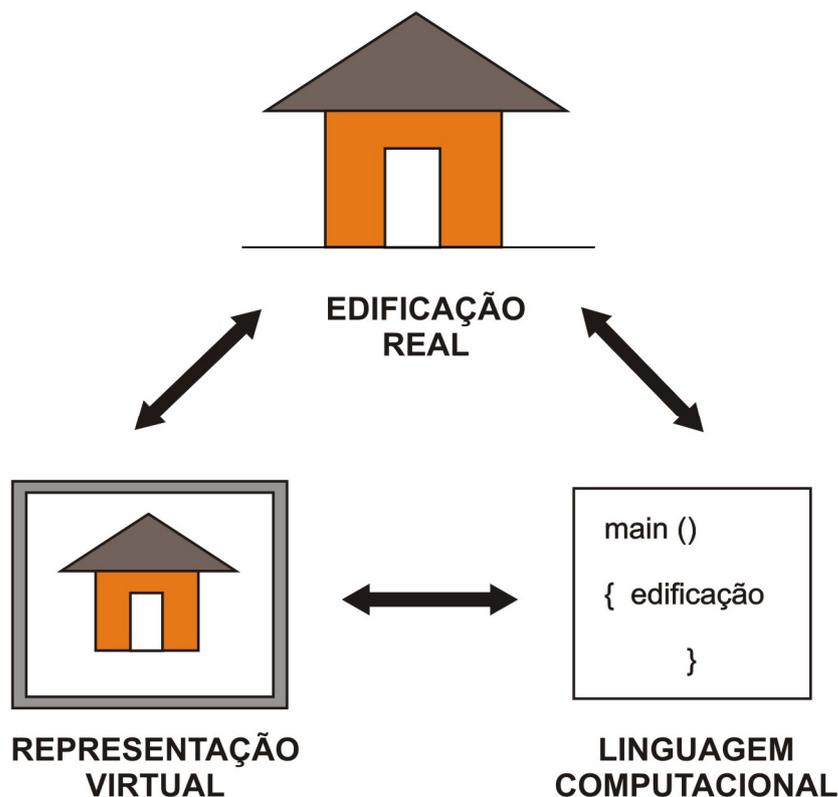
A partir do objetivo de transformar os princípios da Coordenação Modular em parâmetros que possam ser aplicados ao modelo BIM, percebe-se como desafio a necessidade de compreensão e representação de um mesmo objeto, coordenado modularmente, em diferentes instâncias.

O termo objeto pode ser definido como, “produto de uso, produtos sistêmicos e sistemas de informações que mantêm com o Homem uma efetiva relação de utilização no nível intelectual, físico ou sensorial” (GOMES, 2004 *apud* GOMES FILHO, 2006).

Diante da necessidade de se estabelecer um recorte para a presente pesquisa, pois não seria possível a adoção de toda uma edificação como objeto da investigação proposta, optou-se pela representação de um sistema construtivo, aplicado a um subsistema de alto nível de influência, tanto para os demais subsistemas, como para o projeto como um todo. A definição de sistema construtivo e a apresentação daqueles selecionados para o desenvolvimento do trabalho, alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos e *light steel framing*, estão presentes no capítulo 6.

Resume-se, então, como desafio (figura 13): compreender e reproduzir um mesmo objeto (sistema construtivo) em três instâncias diferentes: a edificação real (construção), sua representação virtual (modelo BIM) e em linguagem computacional (parâmetros que alimentarão o modelo BIM).

Figura 13 – Resumo do desafio apresentado na presente pesquisa: compreender e reproduzir um mesmo objeto em três instâncias diferentes: real, virtual e computacional.



Trata-se, portanto, de um desafio de comunicação, onde a investigação de uma solução passa pela compreensão do objeto como um **sistema** e pela questão da **linguagem**.

Considera-se um sistema como um agregado de elementos que são relacionados entre si, podendo ser estudado através de parâmetros gerais: os básicos ou fundamentais<sup>12</sup>; e os chamados hierárquicos ou evolutivos, apresentados a seguir (VIEIRA, 2006):

- a) Composição – reflete a natureza dos elementos que compõem o sistema, sua diversidade e sua quantidade;
- b) Conectividade – capacidade que elementos apresentam em se conectar, tanto entre si (outros elementos), quanto com o meio ambiente (o “todo”);
- c) Estrutura – número de conexões estabelecidas no sistema para um determinado instante de tempo;
- d) Integralidade – capacidade do sistema de desenvolver subsistemas;
- e) Funcionalidade – propriedades específicas de cada subsistema;
- f) Organização – capacidade do sistema de percorrer todas as escalas dos parâmetros anteriores, da composição à funcionalidade;
- g) Complexidade – expressão de uma tendência evolutiva universal, característica de tudo que um ser humano faz, seja como criação científica ou artística.

Somados a esses parâmetros, serão colocados, ainda, os conceitos de coesão e coerência, retirados da linguística e do estudo de linguagens formais (VIEIRA, 2006):

- a) Coesão – está associada à estrutura, à construção do sistema passo a passo, ao relacionamento entre as partes ou elementos;
- b) Coerência – reflete as características do todo, possíveis relações do sistema com o seu meio ambiente, seus níveis de integralidade e organização.

Cardoso (2011) destaca que em um sistema deve-se considerar tanto seus elementos de formação como os modos em que eles podem se conectar, ou seja, em princípio, deve-se atentar pelo menos para os parâmetros sistêmicos: **composição, conectividade e estrutura**. Tais parâmetros foram destacados como base para a decomposição do objeto de estudo, facilitando sua reconstrução da instância real para a virtual e, finalmente, para a linguagem computacional.

Além disso, também foram consideradas pesquisas anteriores que tratassem de objetivo semelhante ao do presente trabalho, destacando-se:

---

<sup>12</sup> Os parâmetros sistêmicos denominados básicos ou fundamentais são: permanência, meio ambiente e autonomia. Apesar de extremamente importantes, não estão relacionados às necessidades da presente pesquisa, portanto, não serão abordados.

- a) Monteiro (2011), que discute a representação 3D dos elementos de uma parede no BIM, de forma a atender aos requisitos de projetos para a produção de vedações verticais em alvenaria. O *software* utilizado foi o *Autodesk Revit Architecture 2011*.
- b) Ayres (2009), que apresenta uma experiência de customização de um objeto paramétrico, de um aplicativo BIM, visando a sua adaptação à produção de alvenarias de blocos de concreto. O *software* utilizado foi o *ArchiCAD* da empresa *Graphisoft*, com o desenvolvimento de objetos paramétricos na linguagem interna de *scripts* do próprio *software*, chamada *Geometrical Description Language* (GDL).

Tais pesquisas demonstraram ser possível a customização de um *software* BIM, como opção para a aplicação dos parâmetros gerados a partir dos princípios da Coordenação Modular, aqui proposta.

Porém, para tanto, fez-se necessária a compreensão das estratégias de acesso e alteração de um aplicativo BIM, a começar pelo conceito de algoritmo.

Um algoritmo é uma sequência de instruções bem definidas e não-ambíguas, cada uma das quais podendo ser executada mecanicamente num período de tempo finito e com uma quantidade de esforço finita. Não está necessariamente relacionado com informática, podendo até mesmo uma receita de cozinha ser considerada um algoritmo: são determinados os resultados a serem alcançados e os procedimentos para que esses se cumpram (ORCIUOLI, 2009).

Em teoria, enquanto um problema puder ser definido em termos lógicos, a solução pode ser determinada na identificação e decodificação correta das questões que envolvem determinado problema. O algoritmo é, então, considerado uma linguagem, pois sua equação pode ser utilizada como comunicação mediadora da mente humana para possibilitar a interpretação do computador (NATIVIDADE, 2010).

*Scripts* são algoritmos criados para automatizar sequências de comandos de uma aplicação ou gerar novas informações a partir dos dados inseridos pelo usuário. Seu escopo, porém, é mais reduzido, não oferecendo tanta liberdade para o programador interferir no aplicativo principal. Para tanto, recorre-se a outra opção de acesso: os *plug-ins*.

*Plug-ins* são aplicações criadas para complementar a funcionalidade ou a interface de um aplicativo BIM, da qual compartilham a interface e os procedimentos para manipulação de dados, através de bibliotecas de funções chamadas APIs (*Application Programming Interface*) (AYRES, 2009). O objetivo de uma API é fornecer recursos para que os 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 (MONTEIRO, 2011).

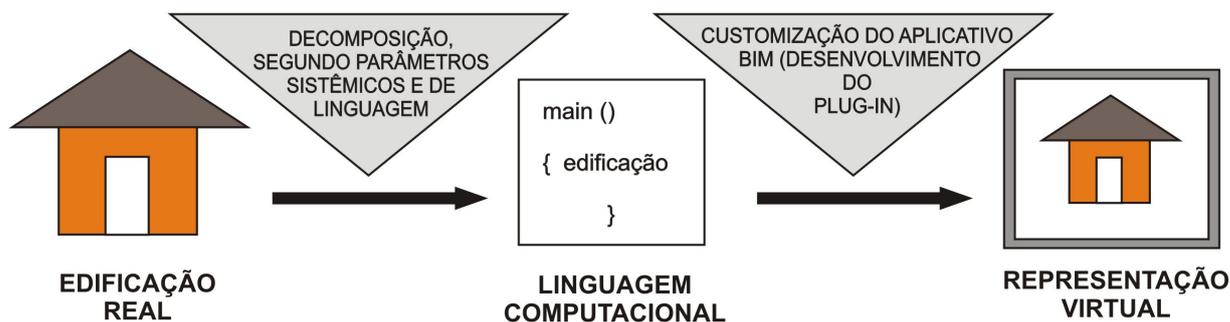
Assim, *script* e *plug-in* se apresentam como opções para a estratégia de programação: a primeira de compreensão mais simples, porém de escopo mais reduzido; e a segunda de maior interferência no aplicativo original, porém mais complexa.

Apesar do maior nível de complexidade e da necessidade da colaboração de um profissional da área da computação, optou-se pelo desenvolvimento do *plug-in* como forma de customização do aplicativo BIM e inclusão das regras da Coordenação Modular no modelo virtual.

Nesse contexto, a transformação dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros para o BIM será investigada através da decomposição de um objeto coordenado modularmente (sistema construtivo), segundo parâmetros sistêmicos e de linguagem, mencionados anteriormente, para sua posterior reconstrução em uma instância virtual e em linguagem de computação, com o conseqüente desenvolvimento do *plug-in*.

O esquema da proposta de investigação apresentada pode ser observado na figura 14.

Figura 14 – Esquema da investigação proposta na presente pesquisa.



Fonte: Autor

Acredita-se que, assim, será possível estabelecer uma metodologia de tradução dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros que alimentem o sistema BIM, além de desenvolver um resultado prático: um *plug-in* que gere, automaticamente, a representação de um sistema construtivo, já de acordo com os princípios da Coordenação Modular.

## 6. SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Sabbatini (1989) define sistema construtivo como “um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo”.

San Martin (1999) busca simplificar essa definição, retirando o aspecto subjetivo do que seriam “elevados níveis de industrialização”, o que resulta no conceito de sistema construtivo como “o conjunto de técnicas, elementos e intervenientes que interagem entre si de forma a construir uma edificação”.

Campos (2011) adiciona a definição de componente construtivo como “resultado da decomposição do organismo arquitetônico em unidades auto-suficientes ou unidades de projeto”. Assim, complementa que, em nossos dias, a expressão sistema construtivo equivale ao “conjunto de componentes entre os quais se pode atribuir ou definir uma relação, coordenados dimensionalmente e funcionalmente entre si, como estrutura organizada”.

A partir das definições supracitadas, o presente trabalho considera o sistema construtivo como uma estrutura organizada que pode ser decomposta em dois aspectos principais: seus **componentes** e as **relações** estabelecidas entre eles.

Partindo de tais aspectos, os critérios de seleção para o objeto a ser representado no estudo exploratório da presente pesquisa foram: o grau de influência do subsistema a ser escolhido perante os demais (hierarquia dentro das relações com os demais subsistemas); e sua importância para o projeto do edifício como um todo (hierarquia dentro de uma estrutura organizada geral).

Segundo Peña e Franco (2004), o subsistema de vedação vertical corresponde, em custo, de 3% a 6% de todo o edifício, se considerado isoladamente, e de até 20%, se considerado sua interface com os demais subsistemas (estrutura, instalações, revestimentos, entre outros). Também é nesse subsistema onde se encontram os maiores índices de desperdício de materiais e mão-de-obra, além dos maiores índices de manifestações patológicas. Os autores ressaltam, ainda, que em função de suas interfaces com os demais subsistemas do edifício, o projeto de vedação deve ser elaborado de forma sistêmica, simultaneamente aos demais projetos (arquitetura, estrutura, instalações, etc), permitindo assim uma coordenação das informações e das soluções técnicas a serem adotadas.

Dessa forma, seu nível de interface com os outros subsistemas do edifício e sua importância para a racionalização da obra como um todo justificaram a escolha da vedação vertical ao longo da investigação proposta.

Em seguida, houve a necessidade de se definir o sistema construtivo, para o qual foram adotados os seguintes critérios: 1. parque tecnológico disponível no Brasil, especificamente no Ceará, local de realização da presente pesquisa; 2. possibilidade de adequação aos critérios da coordenação modular, visto que a tradução dos seus princípios para o BIM compreende o objetivo principal da investigação.

Em relação ao parque tecnológico, observa-se que a indústria cerâmica existe em todo o estado do Ceará. Sua capacidade produtiva é alta, e seus blocos são os mais utilizados nas construções de edificações residenciais, sendo culturalmente bem aceitos. No entanto, quando se refere à qualidade dos blocos e racionalização da produção realizada na prática, encontram-se deficiências como perdas, quebras e retrabalho (HISCE, 2006).

A alvenaria racionalizada mostrou-se uma opção interessante, visto que objetiva otimizar o uso de todos os recursos envolvidos na produção das alvenarias, de sua concepção à utilização, o que coaduna com os objetivos da coordenação modular.

Assim, optou-se pela alvenaria racionalizada em bloco cerâmico como sistema construtivo a ser programado no primeiro estudo exploratório, visando ao desenvolvimento do *plug-in*.

Havendo a necessidade de se escolher um segundo sistema construtivo a ser representado para fins comparativos e de validação da metodologia de tradução proposta, foram adotados os seguintes critérios: 1. apresentação de diferenças com relação a alvenaria em bloco cerâmico, no que diz respeito a dimensão de seus componentes e de suas regras de produção, enriquecendo a comparação entre ambos; 2. possibilidade de adequação aos critérios da coordenação modular, pelo menos motivo do sistema construtivo anterior.

Dessa forma, optou-se pelo *light steel framing*, caracterizado como um sistema construtivo de concepção racional e industrializado, que possibilita uma construção a seco com rapidez de execução. Sua principal característica é a estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado, utilizados para a composição de painéis estruturais e não estruturais, dentre outros componentes da edificação (FREITAS; CRASTO, 2006).

Assim como a alvenaria racionalizada, o LSF pode agregar as funções de vedação e estrutura e, por ser previamente industrializado, visando ao processo de montagem em canteiro, é de fácil adequação aos princípios da coordenação modular.

Porém, apesar dessas semelhanças, alvenaria racionalizada e LSF se diferenciam pela natureza de seus componentes (dimensões, material e processo de fabricação) e procedimentos de execução, o que enriquece a aplicação para ambos os casos da metodologia a ser desenvolvida no presente trabalho.

## **6.1. Alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos**

### **6.1.1. Conceito e características**

A alvenaria pode ser definida como: “conjunto coeso e rígido, conformado em obra, de tijolos ou blocos (unidades de alvenaria) unidos entre si por argamassa” (ABCI, 1990).

A alvenaria racionalizada é entendida como as ações que objetivam otimizar o uso de todos os recursos envolvidos com a produção das alvenarias de vedação, desde a concepção do empreendimento até sua utilização (LORDSLEEM JR., 2000).

O desenvolvimento da alvenaria racionalizada para a produção de vedações verticais seguiu as diretrizes de produção adotadas nos processos construtivos de alvenaria estrutural, os quais possuem elevado nível de racionalização (BARROS, 1998).

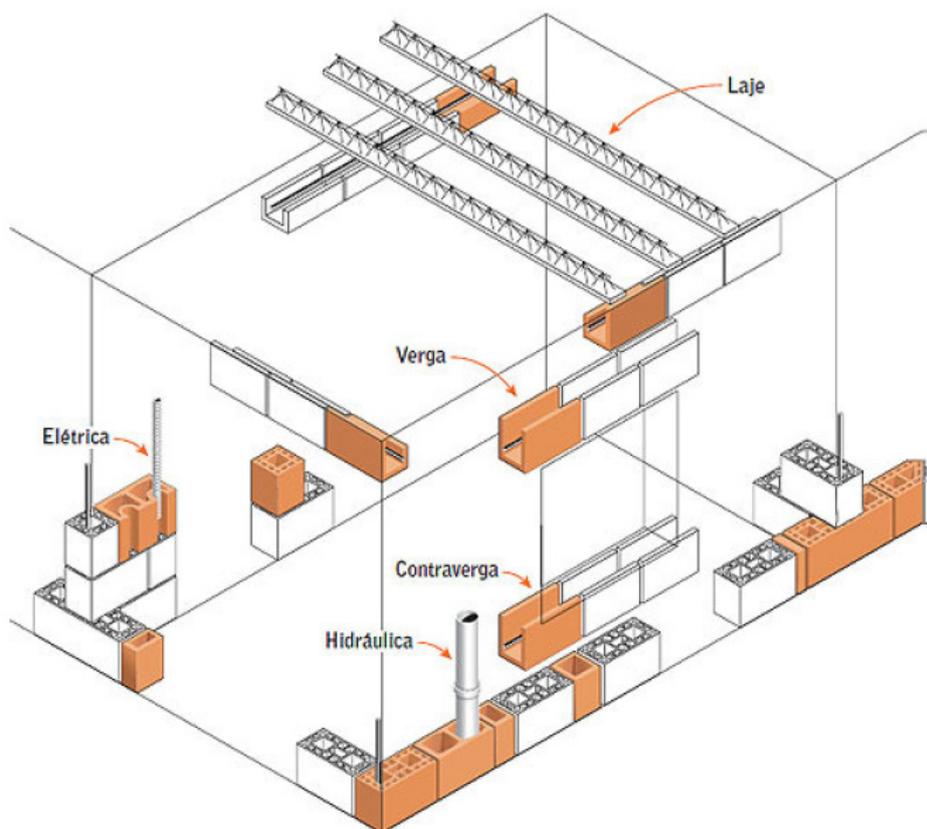
A alvenaria estrutural, por sua vez, é toda estrutura de alvenaria, predominantemente laminar, dimensionada por procedimentos racionais de cálculos para suportar cargas, além do peso próprio (RAUBER, 2005). Os processos em alvenaria estrutural caracterizam-se pelas paredes estruturais desempenharem tanto as funções de estrutura como de vedação (FRANCO, 1992). Como consequência, o arranjo arquitetônico deve estar em conformidade com o sistema estrutural, exigindo uma intensa integração entre os projetistas de arquitetura e estrutura, além de soluções racionalizadas para as instalações, que não poderão ser embutidas nas paredes estruturais. Devido a essa inter-relação entre os subsistemas, é importante o comprometimento de todos os projetistas durante todo o desenvolvimento do projeto, desde sua fase inicial (OHASHI e FRANCO, 2001).

Blocos e tijolos são componentes industrializados para a execução de alvenarias modulares e são apresentados em diversos modelos e dimensões, confeccionados em vários materiais: concreto, cerâmica, sílico-calcário, concreto celular autoclavado, dentre outros (ABCI, 1990).

Bem aceitos pelo mercado, os blocos cerâmicos são vistos como matéria-prima natural abundante no país, com capacidade de reduzir custos de obras quando utilizados em projetos racionalizados. Suas diversas peças oferecem liberdade e flexibilidade nos projetos, atendendo a construções de baixo a alto padrão. São mais leves que os blocos de concreto, podendo ser utilizados em alvenaria aparente, recebendo aplicação de tinta ou gesso em paredes internas, sem a aplicação de emboço. Há uma diversidade de família de blocos estruturais, que podem incluir, além do bloco inteiro e os compensadores, para atingir a medida necessária da parede sem serrar, uma série de blocos com funções específicas a depender de sua aplicação (canaleta em U, canaleta em J, bloco hidráulico, bloco elétrico) (EQUIPE DE OBRA, 2011b).

Exemplos de blocos cerâmicos e suas aplicações na alvenaria estrutural podem ser vistos na figura 15.

Figura 15 – Desenho esquemático de uma residência em alvenaria estrutural, com destaque para os blocos diferenciados.



Fonte: EQUIPE DE OBRAS (2011b)

Segundo Vilató e Franco (2000), o procedimento de amarração de alvenaria que melhor satisfaz a transmissão de esforços entre painéis, além da simplicidade da execução, seria o de alternar um bloco de cada painel a cada fiada.

Na adoção desse procedimento, destacam-se duas alternativas:

- a) Amarração de “meio bloco”, na qual o comprimento nominal do bloco corresponde a duas vezes sua largura, mais a espessura de junta vertical; e
- b) Amarração de “terço”, na que o comprimento do bloco corresponde a três vezes sua largura, mais a espessura de junta vertical.

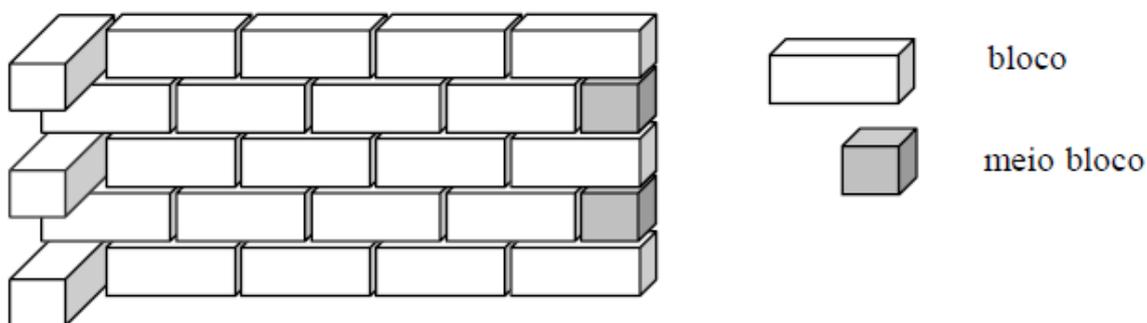
Já os tipos de amarração possíveis, dependendo do tipo de encontro entre as alvenarias são as seguintes:

- a) Amarração de canto – paredes externas (encontro em “L”);
- b) Amarração em topo – paredes externa/interna ou interna/interna (encontro em “T”);
- c) Amarração cruzada – paredes internas (encontro em “X”).

A solução de “meio bloco” tem como vantagem a de exigir apenas dois componentes para sua coordenação completa, porém só possibilita a amarração tipo “L”, conforme apresentado na figura 16.

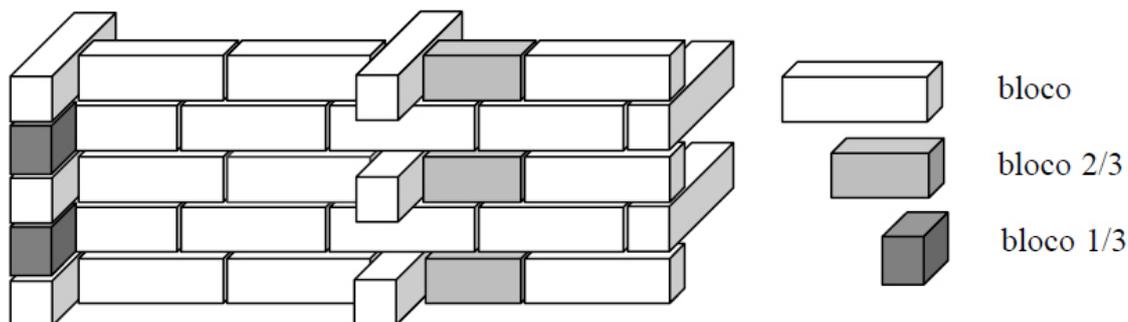
Por outro lado, a solução da amarração de “terço” tem como vantagem a possibilidade de fazer amarrações em “L”, “T” e “X” (figura 17). Sua desvantagem é a necessidade de três componentes para permitir a coordenação completa: bloco inteiro, bloco “1/3” e bloco “2/3”, o que não corresponde à realidade dos componentes no mercado.

Figura 16 – Amarração “em meio bloco” e a disposição do encontro em “L”.



Fonte: Vilató, Franco (2000)

Figura 17 – Amarração “de terço” e as disposições dos encontros em “T”, “X” e “L”, respectivamente.



Fonte: Vilató, Franco (2000)

Quando a interposição dos componentes não é suficiente para resolver todos os tipos de interseções entre painéis estruturais, podem ser utilizadas ligações com reforços metálicos entre os elementos da alvenaria (tela metálica ou grampo de aço, com ou sem graute). Tal alternativa não será utilizada na investigação da presente pesquisa.

### **6.1.2. Alvenaria Racionalizada e Coordenação Modular**

Mesmo com a aprovação da atual norma de Coordenação Modular, ainda é comum observar nas obras, principalmente do segmento popular, o uso de blocos de comprimentos

incompatíveis com a extensão de vãos, o que exige a quebra de peças ou o uso de uma extensa gama de tamanhos para uma mesma família. Os resultados trazem: custos excessivos, projetos mais complexos, problema de interface com as esquadrias e defeitos de execução das alvenarias. A importância de se trabalhar a modulação dos blocos pode ser compreendida em vários níveis, mas o principal é o estabelecimento de padrões dimensionais para que as peças se encaixem umas às outras (TÉCHNE, 2011).

Zechmeister (2005) também destaca que a padronização das unidades de alvenaria no Brasil é extremamente necessária, pois tais elementos são presença constante na atividade construtiva, principalmente habitacional. Sua ausência ocasiona a perda, não somente no uso desses elementos, mas na sua compatibilização com os demais. Destaca-se, inclusive, a perda em produtividade, pois devido à baixa construtibilidade dos projetos, a mão-de-obra precisa ter cuidado redobrado na execução.

Franco (1992) resume as vantagens da aplicação da modulação nos projetos de alvenaria, colocadas a seguir:

- a) Diminuição das perdas de materiais, derivadas do corte manual dos blocos;
- b) Adoção de uma sistemática de projeto, baseada em regras definidas – além de facilitar a elaboração do projeto, permite utilizar um pequeno número de detalhes padronizados;
- c) Aumento da produtividade, através de uma maior facilidade da mão-de-obra de assimilar tais detalhes;
- d) Soluções mais simples para a execução das amarrações das paredes, através da utilização do sistema modularmente coordenado, o que simplifica essa operação;
- e) Diminuição no número de componentes necessários para a execução da alvenaria, em função da padronização;
- f) A padronização dos componentes da alvenaria leva à padronização dos demais componentes.

A alvenaria racionalizada se caracteriza, pois, como um sistema construtivo que pode proporcionar elevação da qualidade de execução das obras e diminuição em seu custo final, desde que seja adequadamente utilizado, sendo necessária a aplicação da coordenação modular, tanto na etapa de projeto quanto na de execução como medida de racionalização (MEHIS, 2010).

### **6.1.3. Bloco cerâmico – Projeto MEHIS**

O projeto MEHIS – Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais – foi um dos projetos que participaram na constituição da rede de pesquisa Habitare

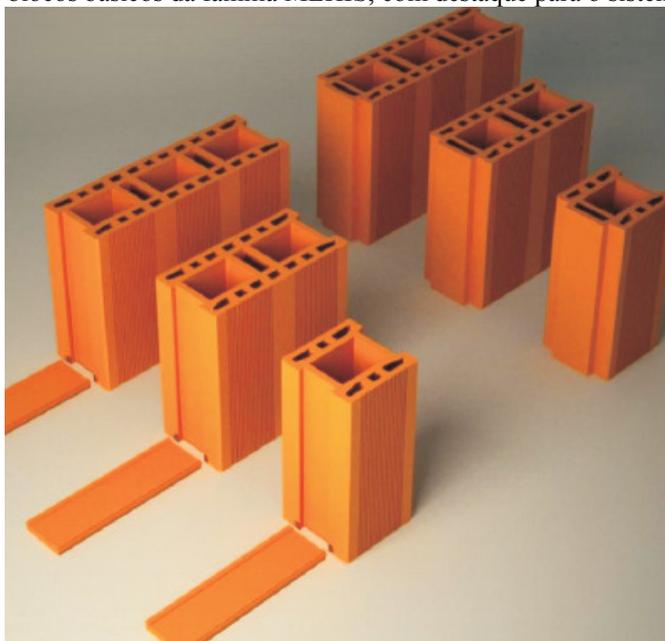
“Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para a Habitação de Interesse Social”. Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará – UFC, e coordenado pelo prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini, o MEHIS apresentou como objetivo o maior desenvolvimento e a difusão de melhorias no processo tradicional de construção em alvenaria cerâmica, voltado para a produção de HIS.

As principais atividades realizadas ao longo do projeto de pesquisa foram: estudos associados às formas de produção de elementos cerâmicos para alvenaria; investigação das interfaces de famílias de blocos existentes junto aos demais elementos que compõem os sistemas construtivos de alvenaria; verificação da aplicabilidade da investigação junto à demanda local e construção de protótipo com os componentes e técnicas desenvolvidas.

Um dos principais resultados obtidos das análises e estudos mencionados foi uma família de blocos cerâmicos coordenados modularmente, utilizando-se a malha decimétrica como referência espacial.

O bloco principal possui 10 cm de espessura, incluindo 1 cm de reboco, e foi pensado pela composição de um módulo triplo, podendo-se trabalhar com os três tipos de componentes: bloco 1M (10cm x 10cm), bloco 2M (10cm x 20cm) e bloco 3M (10cm x 30cm). Essas medidas correspondem aos blocos 1/3; 2/3 e inteiro, respectivamente.

Figura 18 – Perspectiva dos blocos básicos da família MEHIS, com destaque para o sistema de encaixe removível.



Fonte: MEHIS (2010)

Todos os blocos possuem, ainda, um sistema de encaixe lateral que, além de dispensar a junta vertical, permite um assentamento dos blocos com alinhamento horizontal mais preciso,

facilitando a execução das alvenarias. Quando em junções, o encaixe pode ser retirado (MEHIS, 2010).

A figura 18 mostra a família de blocos MEHIS com seus três componentes principais e destaca o sistema de encaixe e sua possibilidade de remoção, quando desnecessário em determinados encontros.

Devido à sua adequação ao sistema decimétrico da Coordenação Modular e à carência de blocos cerâmicos em acordo com os objetivos da presente pesquisa, a família de blocos do projeto MEHIS será utilizada para a investigação realizada no desenvolvimento do *plug-in*, apresentada no Capítulo 7.

Vale salientar que a família de blocos do MEHIS não prevê ainda blocos complementares como a canaleta em U e canaleta em J, previstos como trabalhos futuros.

## **6.2. Light Steel Framing**

### **6.2.1. Conceito e características**

O *light steel framing* (LSF) é um sistema construtivo de concepção racional, que apresenta como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado, utilizados como painéis estruturais (recebendo cargas e dando estabilidade ao conjunto) e não-estruturais (apenas vedação), além de outros componentes, como vigas de piso e tesoura de telhado.

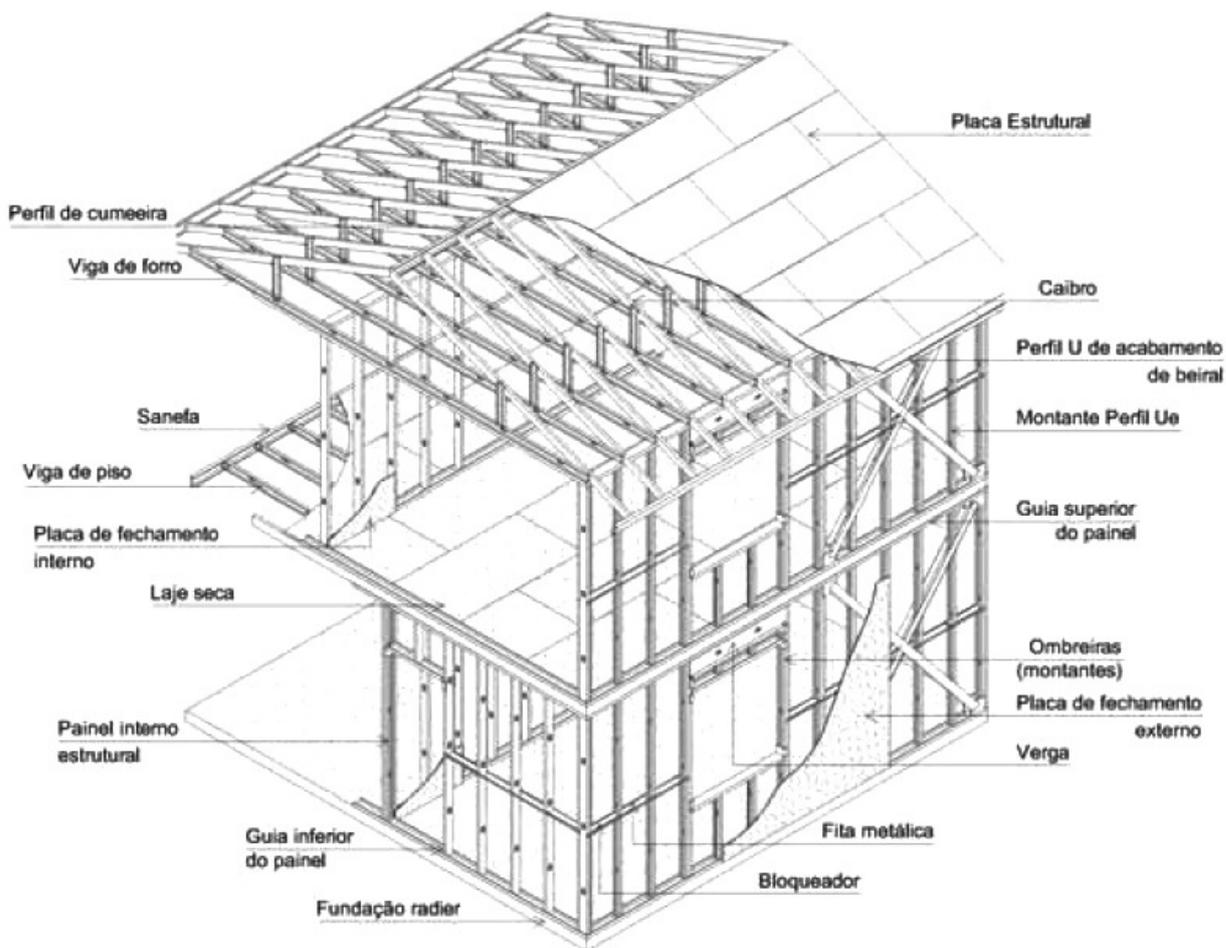
No caso dos painéis estruturais, a concepção do LSF permite um trabalho em conjunto, com o travamento dos painéis entre si, o que garante uma integridade na estrutura. Projetado para trabalhar junto a outros subsistemas industrializados, possibilita uma construção a seco com grande rapidez de execução, além de garantir os requisitos de funcionamento da edificação. Pode ser conhecido também por Sistema Auto-portante de Construção a Seco (TÉCHNE, 2008a; FREITAS e CRASTO, 2006; JARDIM e CAMPOS, 2005).

A figura 19 mostra um desenho esquemático de uma residência construída no sistema LSF para facilitar a visualização dessa disposição de painéis e subsistemas industrializados.

Segundo Rodrigues (2006), existem dois conceitos básicos relativos ao sistema: *frame*, que consiste no esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação; e *framing*, processo pelo qual se unem e vinculam seus elementos.

Os painéis podem ser instalados na vertical, para serem utilizados como paredes, e na horizontal como pisos. Um painel utilizado em parede é formado pelos montantes e pelas guias.

Figura 19 – Desenho esquemático de uma residência em *Light Steel Framing*.



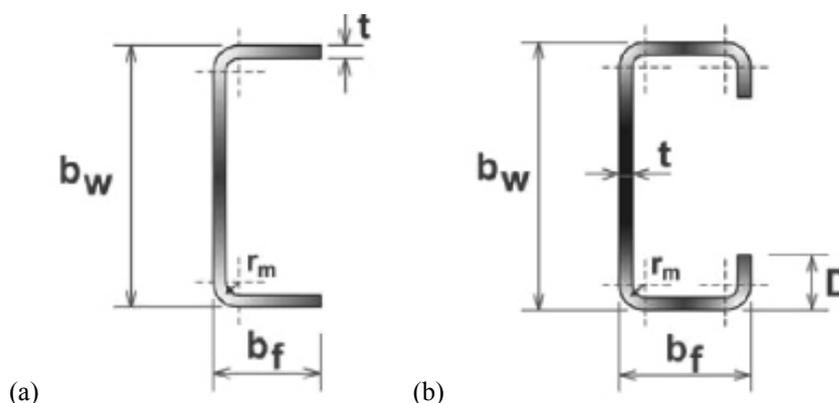
Fonte: FREITAS e CRASTO (2006)

Os montantes (perfis U enrijecidos) são os elementos paralelos verticais, geralmente modulados a cada 400 mm ou 600 mm, dimensão definida de acordo com o cálculo estrutural e associadas às dimensões dos elementos constituintes dos sistemas de acabamento, visando à minimização do desperdício. As guias (perfis U) são elementos que fixam as extremidades dos montantes (inferior e superior) conformando a estrutura básica do sistema LSF (FREITAS e CRASTO, 2006; TÉCHNE, 2008a; VIVAN, 2011).

No Brasil, tais perfis são reconhecidos pela ABNT de acordo com a norma NBR 15253:2005 (Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações) e suas seções transversais são apresentadas na figura 20.

O perfil U simples é formado pela alma de comprimento  $b_w$  e a mesa de comprimento  $b_f$ . A mesa também pode ser chamada de flange ou aba (figura 20a). O perfil Ue enrijecido, além da alma e da mesa, possui "enrijecedores" de comprimento  $D$ , colocados como as extensões das mesas (figura 20b) (TÉCHNE, 2008a).

Figura 20 – Seção transversal dos principais perfis utilizados em painéis de LSF: perfil U (a) e perfil Ue (b).



Fonte: SILVA (2008)

Isoladamente os montantes não são capazes de resistir aos esforços horizontais que solicitam a estrutura, como os provocados por ventos. Para se evitar perda de estabilidade da estrutura, devem ser garantidas ligações rígidas ou elementos capazes de transferir esses esforços para as fundações. No caso do LSF, as combinações mais comuns são (FREITAS e CRASTO, 2006):

- a) Uso de contraventamento nos painéis, combinado ao diafragma rígido no plano de piso que atua, transmitindo os esforços aos painéis contraventados;
- b) Fechamento da estrutura com placas que funcionem como diafragmas rígidos no plano vertical (painéis).

O sistema de vedação dos painéis pode ser dividido em três partes: os fechamentos externos que delimitam áreas molháveis; os isolantes térmicos e acústicos, que são colocados entre as placas e entre os montantes; e os fechamentos internos, instalados nas áreas secas ou úmidas. Os materiais mais utilizados são: placas cimentícias<sup>13</sup> e placas OSB<sup>14</sup> (*Oriented Strand Board*), externamente; e placas de gesso acartonado<sup>15</sup>, internamente em áreas secas. Para as áreas molháveis internas é recomendável, novamente, o uso das placas cimentícias (FREITAS e CRASTO, 2006; TECHNÉ, 2008b).

Vale salientar que, apesar de visualmente semelhantes, o sistema LSF se diferencia do sistema *dry-wall*, que é caracterizado pelo uso de placas de gesso de alta resistência, fixadas em perfis de aço galvanizado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL, 2007). Enquanto o primeiro é a conformação de um “esqueleto estrutural”

<sup>13</sup> Placas compostas por uma mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas, e agregados.

<sup>14</sup> Placa de madeira fabricada com três a cinco camadas de tiras de madeira reflorestada, cruzadas perpendicularmente, prensadas e unidas com resinas.

<sup>15</sup> Placa fabricada industrialmente, composta de gesso, água e aditivos; revestida em ambos os lados com lâminas de cartão, o que confere ao gesso resistência à tração e flexão.

composto por painéis e perfis leves, o segundo é um sistema de vedação, não estrutural, que necessita de uma estrutura externa para suportar as cargas da edificação, apresentando assim dimensões e tratamentos diferentes (JARDIM e CAMPOS, 2005).

### ***6.2.2. Light Steel Framing e Coordenação Modular***

O LSF se caracteriza como um sistema construtivo aberto o que lhe confere como potenciais a utilização de materiais diversos, flexibilidade, racionalização, controle de recursos e customização (JARDIM e CAMPOS, 2005).

Como o sistema construtivo é composto por peças industrializadas, que são montadas no próprio canteiro, seu tempo de execução é reduzido e o desperdício de materiais é mínimo, se executado por uma equipe experiente e bem treinada. Normalmente, uma casa de alvenaria convencional levaria o dobro do tempo para ser construída do que uma em LSF, com a mesma área construída. Como os componentes construtivos chegam prontos ao canteiro de obras, para erguer o LSF a ferramenta fundamental é a parafusadeira. Porém, ao contrário do sistema de alvenaria convencional, ainda existe grande dificuldade para se encontrar mão de obra qualificada para executar construções em LSF (EQUIPE DE OBRA, 2011a; ARQUITETURA E URBANISMO, 2011b).

Nesse contexto, em um empreendimento que utiliza o sistema LSF, a coordenação modular torna-se uma estratégia de projeto da maior importância. Como o sistema construtivo utiliza elementos prontos para a instalação, transformando a execução no canteiro de obra em um processo de linha de montagem, a eficiência do processo depende da antecipação e compatibilização de dimensões, que devem ser respeitadas do projeto à fabricação (VIVAN, 2011).

Freitas e Crasto (2006) também incluem a modulação como um dos fundamentos do sistema LSF, tanto para os elementos estruturais como demais componentes. A adoção da estratégia da coordenação modular é destacada como fundamental para a racionalização no processo de projeto e para a normalização dos elementos de construção, condição essencial para industrializar sua produção.

## 7. DESENVOLVIMENTO

A etapa de **desenvolvimento** compreende o estudo exploratório sobre o processo de geração dos parâmetros a serem utilizados na alimentação da construção proposta (*plug-in*). Pode ser dividida em dois momentos:

- a) A investigação de uma metodologia para a tradução de parâmetros da Coordenação Modular, aplicada em um primeiro sistema construtivo: alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos. Para tanto, houve a necessidade da compreensão e decomposição do objeto de estudo, possibilitando sua representação da instância real para a instância virtual, através de sua descrição em linguagem computacional.
- b) Aplicação da metodologia em linguagem *script*, menos complexa que a programação do *plug-in*, realizada na planta de dois projetos de HIS de pequeno porte, a fim de garantir a eficiência da metodologia e realizar os primeiros ajustes.

### 7.1. Geração dos parâmetros de um primeiro sistema construtivo: alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos.

Para dar início ao estudo, foi necessária a compreensão de como se dispõe uma alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, transformando o processo em parâmetros para sua posterior reconstrução em linguagem computacional (alimentação do modelo BIM).

A decomposição da alvenaria, a ser apresentada a seguir, foi baseada no conteúdo presente no referencial teórico (item 6.1) e em conhecimentos sobre **sistema** e sobre **linguagem** (item 5.2).

Entender o objeto como um **sistema** consiste em percebê-lo como uma estrutura organizada de componentes (elementos que o compõem) que se relacionam entre si ou com o meio em que está inserido, gerando as características do todo.

Assim, para a decomposição do objeto de estudo, foram selecionadas as seguintes características a serem identificadas:

- a) **Componentes**, incluindo sua diversidade e sua quantidade;
- b) **Relações**, ou seja, a capacidade dos componentes em se conectar;
- c) **Estrutura**, ou seja, as conexões estabelecidas no sistema para um determinado momento e sua construção passo-a-passo.

Tais características se equivalem aos parâmetros sistêmicos **composição, conectividade e estrutura**, consecutivamente, que estão inclusos no item 5.2 como fundamentais no estudo de processos de formação de um sistema.

Os blocos cerâmicos foram determinados como os componentes básicos da alvenaria, enquanto as relações consistem nos tipos de amarração. A estrutura, que depende de um contexto específico, foi verificada posteriormente, depois de selecionados a família de blocos e os tipos de amarração a serem adotados na presente pesquisa.

Considerando o procedimento de amarração de alvenaria que melhor satisfaz a transmissão de esforços entre painéis e a simplicidade da execução, adotou-se alternar um bloco de cada painel a cada fiada, sem o uso de ligações com reforços metálicos ou semelhantes.

Na adoção desse procedimento, destacam-se a amarração de “meio bloco” e de “terço”, a depender da família de blocos a ser escolhida.

A solução de “meio bloco” tem como vantagem a de exigir apenas dois componentes para sua coordenação completa (bloco inteiro e bloco “1/2”), enquanto a de terço necessita de três componentes para tanto (bloco inteiro, bloco “1/3” e bloco “2/3”), o que não corresponde à realidade dos componentes vendidos no mercado.

Baseando-se apenas no critério de escolha dos componentes, inicialmente pensou-se na solução de “meio bloco” para a investigação, porém, quando observado o critério de relações possíveis, percebeu-se o seguinte.

Os tipos de amarração possíveis, dependendo do tipo de encontro entre as alvenarias são:

- a) Amarração de canto – paredes externas (encontro em “L”);
- b) Amarração em topo – paredes externa/interna ou interna/interna (encontro em “T”);
- c) Amarração cruzada – paredes internas (encontro em “X”).

Enquanto a solução de “meio bloco” só possibilita a amarração tipo “L”, a solução de “terço” tem como vantagem a possibilidade de fazer amarrações em “L”, “T” e “X”, ampliando os tipos de relações consideravelmente em relação à opção anterior.

O resumo para as duas soluções de amarração, no que diz respeito a componentes (família de blocos) e relações (tipos de amarrações possíveis) pode ser observado na figura 21.

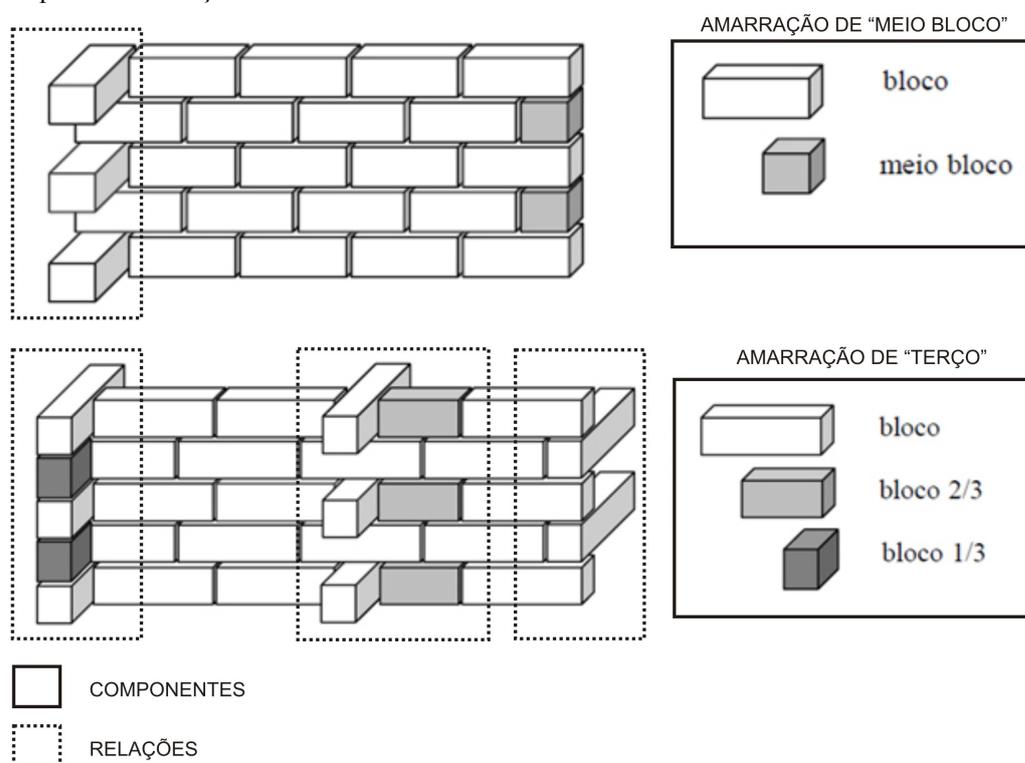
Considerando a disponibilidade de uma gama de relações maior e, conseqüentemente uma maior flexibilidade de soluções, optou-se pela amarração de “terço” como escolha final para a investigação proposta.

Porém, como mencionado, esse tipo de amarração não corresponde à realidade dos componentes vendidos no mercado, o que levou à utilização de uma família de blocos cerâmicos desenvolvida a partir de pesquisas realizadas pela própria Universidade Federal do Ceará.

Trata-se de uma família de blocos cerâmicos coordenados modularmente, realizados pelo Projeto MEHIS (FINEP/Habitare), utilizando-se a malha decimétrica como referência espacial, o que reforça sua adequação aos objetivos da presente pesquisa.

O bloco principal possui 10 cm de espessura, incluindo 1 cm de reboco, e foi pensado pela composição de um módulo triplo, podendo-se trabalhar com os três tipos de componentes: bloco 1M (10cm x 10cm), bloco 2M (10cm x 20cm) e bloco 3M (10cm x 30cm). Essas medidas correspondem aos blocos 1/3; 2/3 e inteiro, respectivamente.

Figura 21 – Comparação entre as opções amarração de “meio bloco” e amarração de “terço”, com destaque para os componentes e relações.



Fonte: Adaptado de Vilató, Franco (2000).

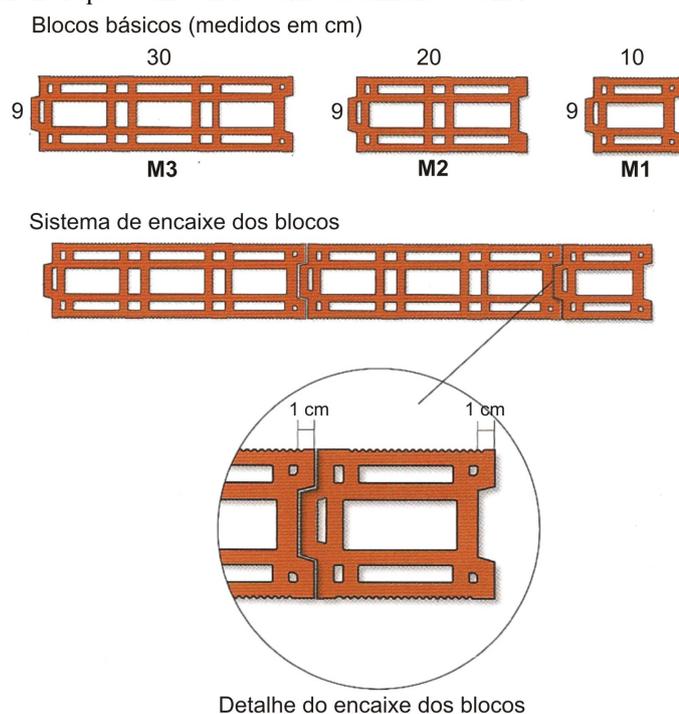
Todos os blocos possuem, ainda, um sistema de encaixe lateral que, além de dispensar a junta vertical, permite um assentamento dos blocos com alinhamento horizontal mais preciso, facilitando a execução das alvenarias. Quando em junções, o encaixe pode ser retirado (MEHIS, 2010).

Os detalhes das dimensões para cada tipo de bloco e o diferencial do encaixe lateral estão representados na figura 22.

Assim, foram definidos os componentes e as relações que serão investigados na decomposição do objeto alvenaria em blocos cerâmicos (quadro 2).

A partir daí, deu-se início às investigações sobre a estrutura do objeto, que pode ser relacionada à coesão do todo e sua construção passo-a-passo. É definida, dessa forma, como as conexões estabelecidas entre os componentes em um determinado momento, compreendendo as diferentes combinações entre componentes e relações, já definidos anteriormente.

Figura 22 – Desenho em planta dos blocos básicos da família MEHIS, com suas principais dimensões, incluindo o sistema de encaixe. Vale salientar que 9 cm consiste em sua dimensão sem reboco.



Fonte: MEHIS (2010).

Enquanto componentes e relações apresentam aqui um caráter estático e pré-definido, a estrutura passa a ter caráter dinâmico, pois compreenderá os diferentes arranjos possíveis entre blocos e amarrações, a depender da disposição do projeto em que a alvenaria é empregada. A investigação seguinte consistiu, então, em levantar parâmetros que prevejam a gama de arranjos possíveis e sua posterior reconstrução passo-a-passo.

Quadro 2 – Resumo dos componentes e relações definidos para a alvenaria em blocos cerâmicos.

COMPONENTES	RELAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>BLOCO M1 (10cm x 10cm x 9cm);</li> <li>BLOCO M2 (20cm x 10cm x 9cm);</li> <li>BLOCO M3 (30cm x 10cm x 9cm).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ENCONTRO EM “L”;</li> <li>ENCONTRO EM “T”;</li> <li>ENCONTRO EM “X”.</li> </ul>

Fonte: Autor.

Para tanto, foi importante a utilização de projetos reais, como exemplos de estruturas possíveis para diferentes casos, previamente selecionados em função do nosso universo de estudo (Habitação de Interesse Social e aplicação da Coordenação Modular).

Foram iniciadas as reuniões semanais da equipe interdisciplinar que, além da pesquisadora arquiteta, incluiu um arquiteto, um engenheiro civil e um bacharel em ciência da computação. Para facilitar a comunicação entre a pesquisadora e os outros componentes da equipe, além do desenho digital em 2D, foram utilizadas outras estratégias de representação, como lousa com pincel e blocos coloridos de madeira.

### **7.1.1. Estudo da alvenaria isolada**

Para esse estudo, a alvenaria foi considerada um objeto único e isolado, a ser decomposto em seus componentes básicos: blocos M1, M2 e M3. Deve-se salientar que, como objeto isolado, ainda não serão vislumbradas relações, pois a alvenaria não estabelecerá encontro com nenhuma outra.

As propriedades dimensionais do objeto são: **altura, espessura e comprimento**.

Nesse momento, o uso da Coordenação Modular se mostrou essencial como referência dimensional comum entre o objeto e seus componentes. Pressupondo a condição básica de que a alvenaria deverá estar de acordo com o módulo decimétrico (10 cm), suas propriedades dimensionais foram decompostas considerando essa referência comum.

A **altura** da alvenaria depende da altura do bloco cerâmico, independente do tipo, visto que todos possuem a mesma altura; e do número de fiadas sobrepostas. Pode ser representada, portanto, como o número de fiadas multiplicado por 10 cm, altura comum a todos os blocos cerâmicos da família selecionada. Nos 10 cm são inclusos 9 cm de fabricação do bloco e 1 cm de junta horizontal (quadro 3).

Quadro 3 – Equação 01, onde é possível estabelecer a decomposição da altura da alvenaria.

**$Aa = Nf \times 10 \text{ cm}$** , onde:

Aa = altura da alvenaria;

Nf = número de fiadas;

10 cm = altura comum a todos os blocos cerâmicos da família selecionada.

Fonte: Autor.

A **espessura** da alvenaria é uma constante, visto que se trata de apenas um pano. Foi estipulado o valor de 10 cm, o que inclui 9 cm da espessura de fabricação do bloco, independente do tipo, e 1 cm de reboco (quadro 4).

Quadro 4 – Equação 02, onde é possível estabelecer a decomposição da espessura da alvenaria.

**Ea = 10 cm**, onde:

Ea = espessura da alvenaria;

10 cm = espessura do bloco cerâmico rebocado.

Fonte: Autor.

O **comprimento** consistirá na dimensão problema, devido à sua maior complexidade, pois depende do número de blocos de cada tipo (10 cm, 20 cm, 30 cm), da disposição dos blocos de cada tipo e da inclusão das juntas verticais. Não será contabilizada a dimensão de junta, pois, com o encaixe lateral característico do sistema, os blocos são intertravados e a junta vertical é seca.

Assim, dependendo do seu valor, o comprimento será constituído de diferentes combinações entre os três tipos de blocos.

Considerando o sistema decimétrico, já se sabe que o valor do comprimento deverá ser obrigatoriamente divisível por 10 cm, ou  $N \times 10$  cm, onde N é um número inteiro qualquer.

Os comprimentos dos blocos cerâmicos disponíveis para compor tal alvenaria seguem a mesma regra decimétrica e incluem: 10 cm, 20 cm, 30 cm.

O bloco principal (inteiro) consiste no de 30 cm, tendo prioridade de escolha por se tratar do maior componente, e tornando-se, portanto, no divisor para o comprimento da alvenaria.

Os blocos de 20 cm e 10 cm são considerados complementares, cuja função é suprir os eventuais “restos” da divisão mencionada anteriormente.

Em outras palavras, quando encontrado um comprimento de alvenaria qualquer, ele será distribuído em N blocos de 30 cm e, em caso de sobra, esta será complementada com um bloco de 20 cm ou um bloco de 10 cm. Essa relação é possível de ser deduzida visto que, graças ao sistema decimétrico, nosso comprimento será sempre divisível por 10 cm.

Assim, no que diz respeito à relação entre comprimento e quantidade de blocos cerâmicos, foi possível estabelecer as equações 03 e 04, expressas no quadro 5.

Quadro 5 – Equações 03 e 04, onde é possível estabelecer a decomposição do comprimento da alvenaria.

**Ca = (Qb x 30) + R** ou

**Qb = (Ca / 30) + R**, onde:

Qb = quantidade de blocos principais (30 cm), expressa e um número inteiro qualquer;

Ca = comprimento da alvenaria;

30 cm = comprimento do bloco principal; e

R = resto da divisão, podendo ser: ZERO, 20 cm ou 10 cm.

Fonte: Autor.

Porém, ainda restava estabelecer as regras para o posicionamento de cada tipo de bloco ao longo do comprimento e em relação às diferentes fiadas.

Para facilitar o reconhecimento de recorrências e padrões, foi determinada a localização dos blocos complementares (10 cm, 20 cm) nas extremidades dos panos, o que facilita o isolamento de variáveis e concentra um padrão de blocos principais (30 cm) no “núcleo” da alvenaria. Não há prejuízos à execução da alvenaria real.

A partir da equação estabelecida anteriormente, são percebidos três padrões de disposições, explicados a seguir.

O tipo R1, de resto 10 cm, terá o comprimento composto por um número inteiro N de blocos principais, somado a um bloco de 10 cm em uma das extremidades.

O tipo R2, de resto 20 cm, terá o comprimento composto por um número inteiro N de blocos principais, somado a um bloco de 20 cm em uma das extremidades.

Por fim, o tipo R3, de resto ZERO, por ser múltiplo de 30 cm, terá o comprimento composto apenas por um número inteiro N de blocos principais.

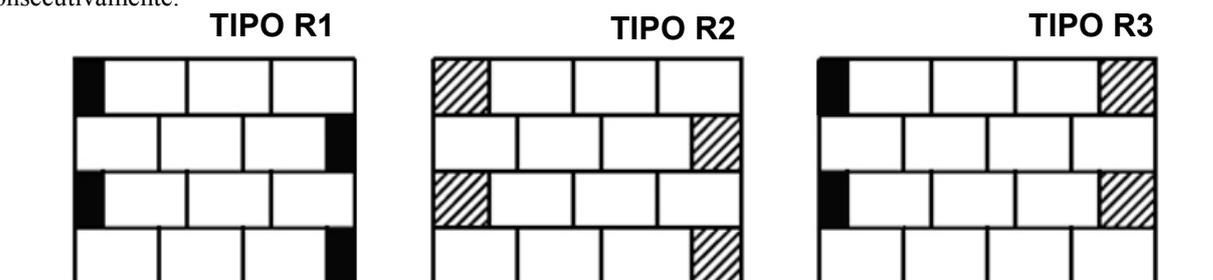
Devido à escolha inicial do tipo de amarração com junta amarrada, juntas verticais entre fiadas sobrepostas não devem coincidir, ou seja, não pode haver junta a prumo.

Para os tipos R1 e R2 essa questão é solucionada alternando em qual extremidade o bloco complementar será posicionado, entre fiadas pares e fiadas ímpares.

Por outro lado, para o tipo R3, como as fiadas pares e ímpares seriam idênticas, foi necessário trazer uma nova disposição para as fiadas pares, retirando um dos blocos principais e substituindo-o por um bloco de 10 cm, em uma extremidade, e um bloco de 20 cm, na extremidade oposta.

Tais disposições são apresentadas na figura 23, a seguir. É importante observar que para cada tipo de resto R temos apenas duas configurações diferentes de fiadas, que se alternam em fiadas pares e ímpares.

Figura 23 – Configurações pré-definidas dos blocos cerâmicos para a alvenaria isolada dos tipos R1, R2 e R3, consecutivamente.



Assim, em resumo, os critérios para o estabelecimento das regras para a alvenaria isolada, e que serão referência por todo o estudo, foram os seguintes:

- a) Utilização do sistema decimétrico de medidas, em função da Coordenação Modular;
- b) Reboco de 1 cm, contabilizando 10 cm quando somado à espessura de fabricação do bloco cerâmico;
- c) Devido ao sistema de encaixes da família de blocos selecionada, não há necessidade de junta vertical, portanto, esta não será incluída na geração dos parâmetros;
- d) O bloco principal da família selecionada é o de 30 cm que, portanto, tem prioridade de escolha. Os demais blocos (20 cm e 10 cm) são blocos complementares, utilizados quando não há possibilidade de aplicação do bloco de 30 cm, ou seja, quando há “resto” na divisão do comprimento total pelo comprimento do bloco principal;
- e) Os blocos complementares serão localizados nas extremidades de cada pano, facilitando o isolamento de variáveis e concentrando um padrão de blocos principais no “núcleo” da alvenaria. A identificação de padrões e o isolamento das variáveis otimizam informação e facilitam a geração dos parâmetros, sem prejuízos à execução da alvenaria;
- f) Devido à escolha do tipo de amarração com junta amarrada, por razões construtivas, não pode haver junta a prumo, ou seja, juntas verticais entre fiadas sobrepostas não devem coincidir. Para tanto, também se fará uso dos blocos complementares quando necessário.

### ***7.1.2. Estudo do encontro em L***

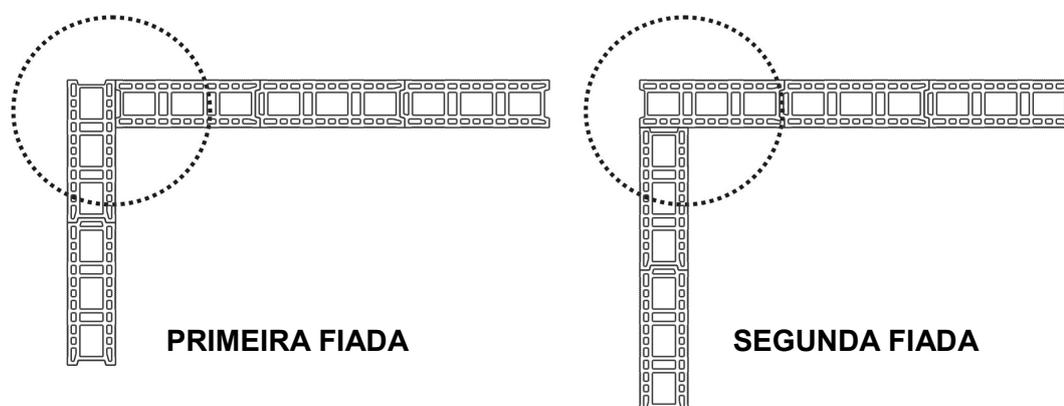
O estudo do encontro em L partiu das regras adotadas anteriormente, assim inicialmente buscou-se deduzi-lo como uma evolução da alvenaria isolada para cada tipo de resto (R1, R2, R3).

Em geral, o encontro L é composto por duas alvenarias justapostas através de suas extremidades, onde uma delas “passa”, sendo contínua, e a outra “chega”, sendo interrompida. Na fiada seguinte, a situação se inverte para que seja possível o intertravamento entre os blocos e o desencontro entre as juntas (figura 24).

A partir daí, foi estudada cada possibilidade de encontro em L, a partir da respectiva alvenaria isolada (R1, R2, R3), utilizando-se como forma de representação desenhos 2D, blocos

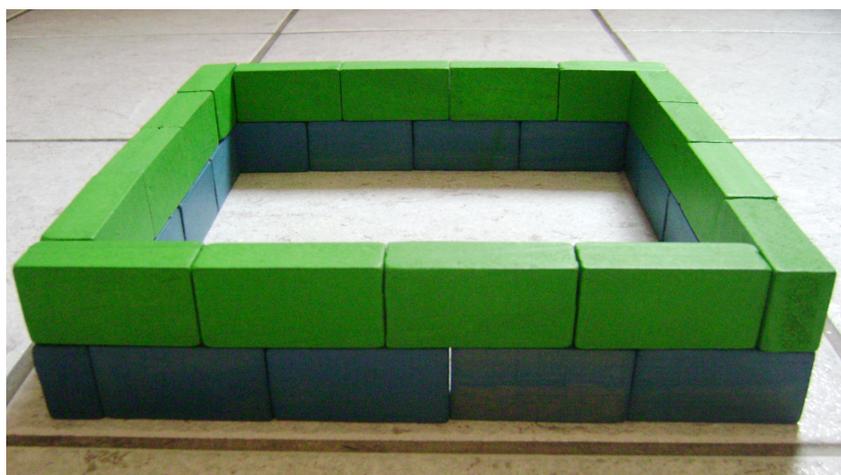
coloridos em madeira (figura 25) e lousa com pincel, facilitando a comunicação entre os diferentes membros da equipe.

Figura 24 – Exemplo de encontro em L, onde é possível observar que uma das alvenarias tem continuidade, enquanto a outra é interrompida. Na fiada seguinte, a situação se inverte, garantindo o desencontro das juntas.



Fonte: Autor.

Figura 25 – Utilização de blocos coloridos em madeira para facilitar a visualização e comunicação entre os diferentes membros da equipe.



Fonte: Autor.

Para o tipo R1, o bloco complementar de 10 cm é substituído pelo bloco da outra alvenaria que se conecta, em topo. O mesmo pode ocorrer nas fiadas pares ou nas fiadas ímpares, visto que suas composições são iguais, apenas alternando a extremidade da localização do bloco de 10 cm, o que possibilita o desencontro das juntas.

Para o tipo R2, o bloco complementar de 20 cm é substituído pelo bloco da outra alvenaria que se conecta em topo, somado a um bloco complementar de 10 cm. O mesmo pode ocorrer nas fiadas pares ou nas fiadas ímpares, visto que suas composições são iguais, apenas alternando a extremidade do bloco de 20 cm, o que possibilita o desencontro das juntas.

Para o tipo R3, temos duas possibilidades de configurações diferentes para fiadas pares e ímpares. A primeira, formada apenas de blocos principais, teria a substituição de um dos blocos de 30 cm pelo bloco da outra alvenaria que se conecta em topo, somado a um bloco complementar de 20 cm. A segunda, formada por um bloco de 10 cm, em uma extremidade, e um bloco de 20 cm, na extremidade oposta, apresentaria duas opções de substituição, semelhantes às opções do tipo R1 e do tipo R2, respectivamente.

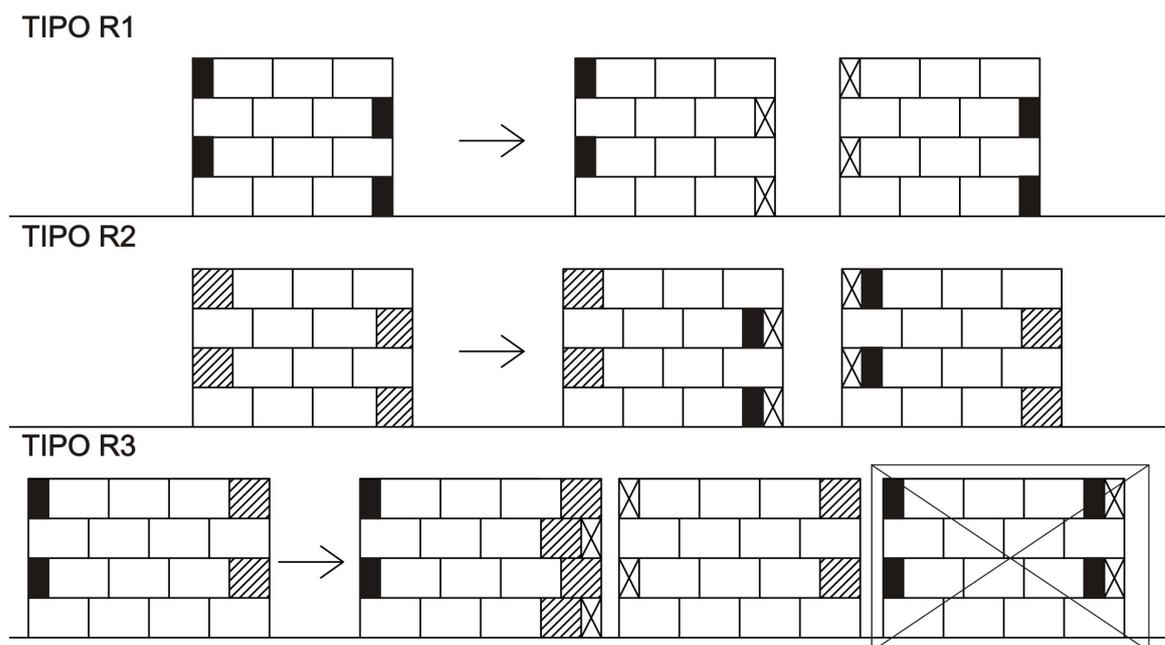
Diante dessa variedade de opções, alguns critérios foram definidos para a redução de variáveis.

Primeiro, observou-se a necessidade de se estabelecer configurações diferentes para as alvenarias que “passam” (contínuas) e para as alvenarias que “chegam” (interrompidas). Ou seja, decidir como será a configuração de uma determinada alvenaria em relação ao encaixe de outra, para cada caso: se ela for contínua, será interceptada pelos blocos da outra alvenaria em suas fiadas pares, se ela for interrompida, em suas fiadas ímpares.

Segundo, tendo em vista as diferentes possibilidades de configuração para o tipo R3, a escolha se dará sempre pela configuração que utilizar menos blocos complementares, critério já determinado para a alvenaria isolada.

A partir daí, foi realizada uma primeira versão das configurações de encontros em L, a ser testada posteriormente nos projetos em desenho 2D (figura 26).

Figura 26 – Configurações pré-definidas dos blocos cerâmicos para os encontros em L, a partir da alvenaria isolada dos tipos R1, R2 e R3, consecutivamente.



Fonte: Autor.

É importante salientar que, como mencionado anteriormente, as fiadas pares do tipo R3 apresentavam duas possibilidades de configuração e, em função do critério de se utilizar menos blocos complementares, uma delas foi excluída como mostra a figura 26.

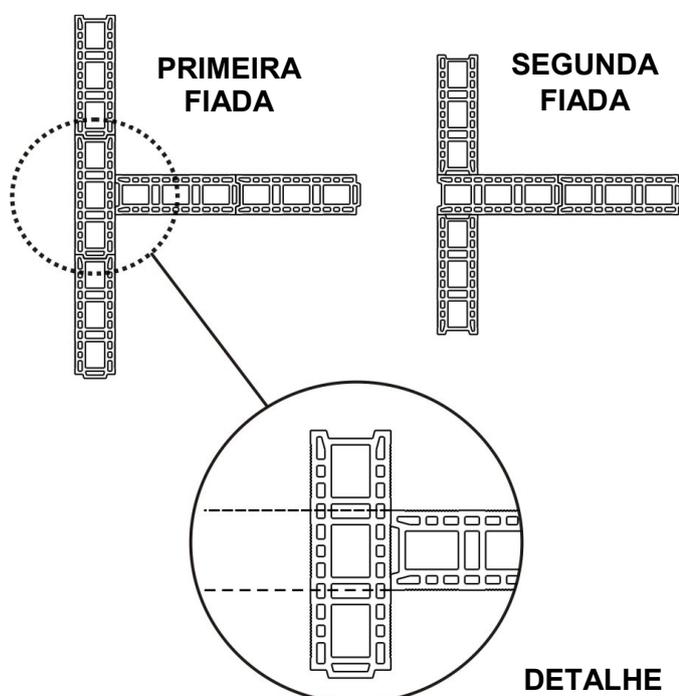
### 7.1.3. Estudo do encontro em T e do encontro em X

O estudo do encontro em T também foi deduzido como uma evolução da alvenaria isolada para cada tipo de resto (R1, R2, R3).

Em geral, o encontro em T é composto por duas alvenarias conectadas: a primeira “recebe” o encontro, que pode ocorrer em qualquer posicionamento de seu núcleo, enquanto a segunda “chega”, justapondo ou intertravando uma de suas extremidades. Por questões de marcação em canteiro de obra, a alvenaria que recebe o encontro em T foi considerada predominante, logo, sua primeira fiada sempre será contínua, enquanto o intertravamento só ocorrerá a partir da segunda fiada (figura 27).

Outra característica importante do encontro em T para o tipo de família selecionada é que a justaposição deve ocorrer obrigatoriamente no terço central do bloco que recebe o encontro, por motivos de amarração, como é possível observar no detalhe da figura 27.

Figura 27 – Exemplo de encontro em T, onde é possível observar as configurações de primeira e segunda fiadas, consecutivamente. O detalhe destaca como ocorre a justaposição de blocos nas fiadas ímpares – sempre no terço central do bloco que recebe o encontro.



Fonte: Autor.

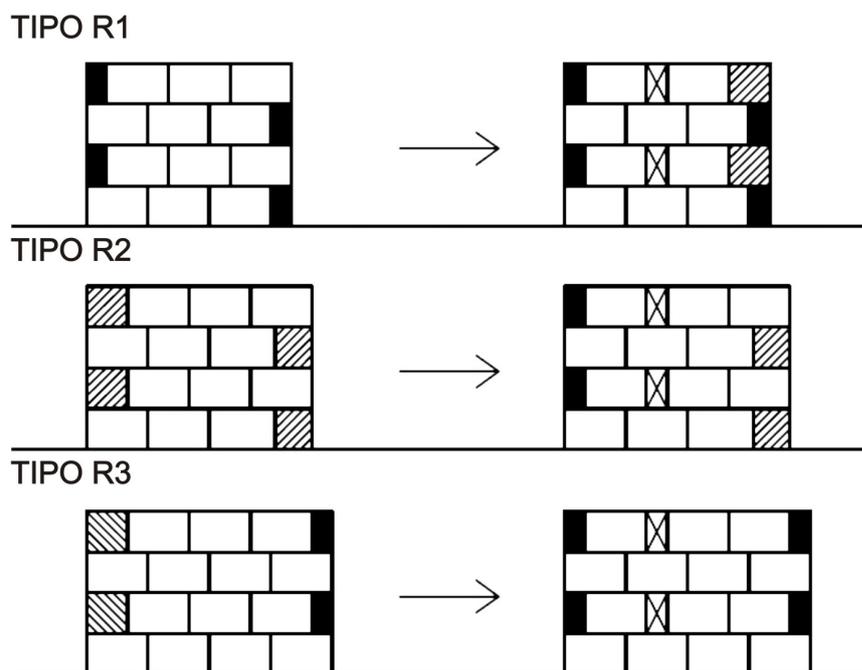
A partir daí, foi estudada cada possibilidade de encontro em T, a partir da respectiva alvenaria isolada (R1, R2, R3), utilizando-se o mesmo procedimento do encontro em L.

O que se percebeu de comum em qualquer caso de encontro T é que, considerando que a alvenaria que recebe o T sempre terá a primeira fiada contínua, as alterações só ocorrerão a partir da segunda fiada e, conseqüentemente, apenas nas fiadas pares.

Tais alterações compreenderão em trocas de blocos que seguem o mesmo raciocínio dos encontros em L, com a diferença de que o bloco em topo não se conecta mais em uma das extremidades, e sim no núcleo da alvenaria que o recebe, como pode ser observado na figura 28.

Assim, foi definida uma primeira versão das configurações de encontros em T, a ser testada posteriormente nos projetos em desenho 2D.

Figura 28 – Configurações pré-definidas dos blocos cerâmicos para os encontros em T, a partir da alvenaria isolada dos tipos R1, R2 e R3, consecutivamente.



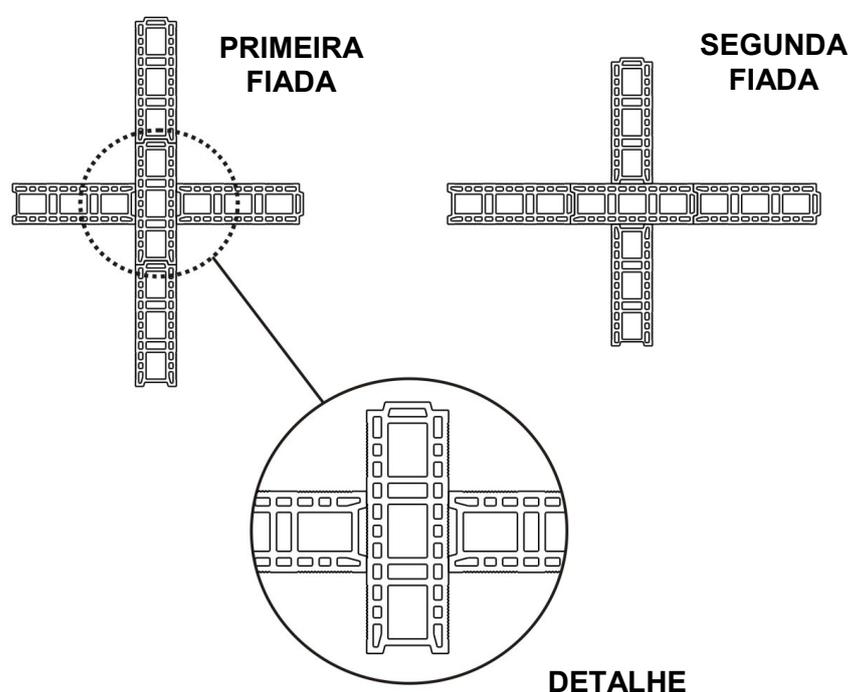
Fonte: Autor.

Em geral, o encontro em X se caracteriza por duas alvenarias que se encontram em seus “núcleos”, sendo uma contínua e outra interrompida, o que causa justaposição ou intertravamento entre elas, a depender da fiada (figura 29). Diferente do encontro em T, não há diferenciação entre parede que “recebe” e parede que “chega”, pois o encontro não envolve extremidades. Outra consequência é que, não envolvendo extremidades, esse encontro sempre ocorre com justaposição de blocos principais (30 cm), devendo ocorrer obrigatoriamente em seu terço central, por motivos de amarração, como pode ser observado no detalhe da figura 29.

O estudo do encontro em X também teve início nessa fase, porém, devido à sua complexidade e sua menor recorrência, quando comparado aos outros encontros, optou-se por se estabelecer seus parâmetros prévios somente após o amadurecimento das regras para os encontros L e T.

Tal decisão foi reforçada, ainda, pela percepção de um aumento gradativo de complexidade entre parede isolada, encontro em L, encontro em T e por fim, encontro em X, consecutivamente, mantidas as semelhanças de um tipo para o outro.

Figura 29– Exemplo de encontro em X, onde é possível observar as configurações de primeira e segunda fiadas, consecutivamente. O detalhe destaca como ocorre a justaposição de blocos – sempre no terço central.



Fonte: Autor.

#### **7.1.4. Aplicação dos parâmetros pré-definidos – projetos em desenho 2D**

Com os parâmetros pré-definidos, foi realizada sua primeira aplicação nos projetos selecionados anteriormente (item 2.2.2), verificando sua conformidade e levantando suas limitações. Para tanto, contou-se com o desenho 2D das plantas originais, em arquivo .dwg no *software* AutoCAD.

Vale ressaltar que esse momento compreende exatamente as investigações quanto à estrutura do objeto de estudo (alvenaria), visto que estamos lidando com diferentes casos de conexões temporárias, estabelecidas apenas para aquela conformação em planta de um determinado projeto.

A princípio, foram necessárias algumas adaptações nas plantas originais para dar início ao estudo:

- a) Considerando-se que não serão previstas aberturas, as esquadrias existentes foram consideradas alvenarias cegas.
- b) No caso do projeto B, onde a modulação original foi baseada em uma família de blocos cerâmicos diferente da selecionada na presente pesquisa, houve a necessidade de se adaptar dimensões em função do sistema decimétrico. Tais adaptações podem ser verificadas no Apêndice A.

O projeto A consiste em apenas uma unidade habitacional térrea, portanto foi utilizada sua planta na íntegra. O projeto B, por sua vez, é composto por um bloco habitacional multifamiliar de 3 pavimentos, com 4 unidades cada, que seguem uma mesma planta padrão, repetida de forma espelhada. Como nesse momento só estão previstos os parâmetros para encontros em L e em T, para a redução da complexidade do projeto, foi estudada apenas uma unidade habitacional, isoladamente.

O procedimento realizado contou com os seguintes passos:

- a) Identificação e classificação das dimensões de cada alvenaria em R1, R2 e R3;
- b) Identificação e classificação dos encontros entre alvenarias em L (R1, R2, R3) ou T (R1, R2, R3);
- c) Preenchimento da primeira fiada de cada alvenaria com os blocos, de acordo com a classificação pré-estabelecida, na sequência L e T;
- d) Preenchimento da segunda fiada de cada alvenaria, como decorrência do estabelecido para a primeira fiada, respeitando-se os parâmetros determinados para a alvenaria isolada (item 7.1.1) e as configurações levantadas para o tipo específico de encontro (itens 7.1.2 e 7.1.3);
- e) Preenchimento das fiadas ímpares de acordo com a primeira fiada e das fiadas pares com a segunda fiada.

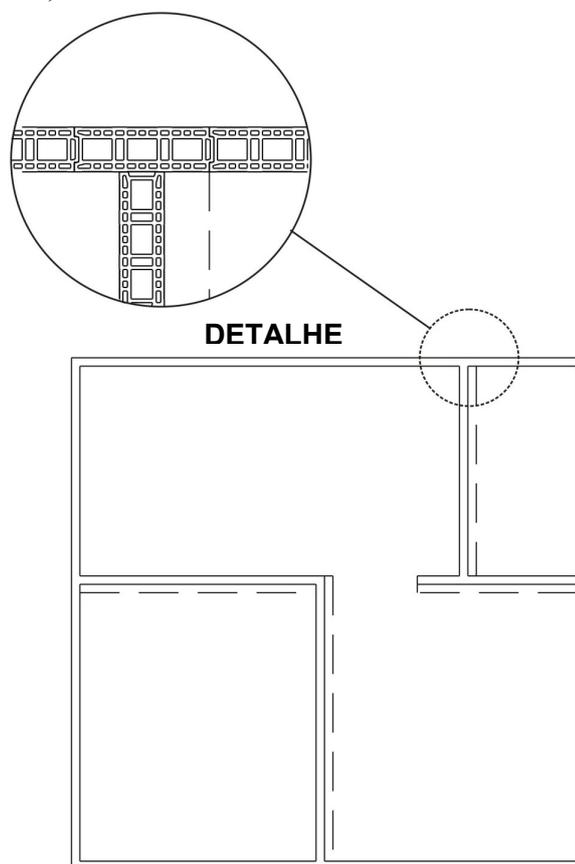
Os parâmetros pré-estabelecidos se mostraram insuficientes, com o surgimento de dúvidas quanto aos critérios de escolha do tipo de encontro em L (contínuo ou interrompido) para dadas situações.

Destaca-se, ainda, o encontro em T como um parâmetro preponderante ao encontro em L, devido à sua restrição maior: acontecer sempre no terço central de um bloco de 30 cm. Com a aplicação realizada nos projetos, percebeu-se a necessidade desses blocos serem os primeiros a serem locados para posterior adaptação dos blocos complementares em função de as dimensões restantes. Caso contrário, poderia ocorrer das paredes que “chegam” aos encontros em T não

coincidirem no terço central, mas em uma de suas extremidades, gerando um erro de execução. Um exemplo desse problema é apresentado na figura 30, onde todas as paredes internas do projeto A precisariam ser deslocadas para que suas chegadas coincidisse com o terço central do bloco de 30 cm, localizado nas paredes que as recebem. Esse problema ocorreu porque primeiro haviam sido locados os encontros em L para posterior locação dos encontros em T.

A solução adotada foi, portanto, locar primeiro os blocos de 30 cm das paredes que recebem os encontros em T, dividindo-as, assim, em dois segmentos independentes que terão os encontros das extremidades restantes tratados separadamente. Essa alteração poderia interferir nas configurações pré-estabelecidas (figura 28), o que foi verificado posteriormente (item 7.2).

Figura 30 – Problema encontrado no projeto A em função dos encontros em T terem sido locados após os encontros em L. As paredes originais (tracejado) precisaram ser deslocadas para que os blocos se encontrassem conforme as regras do encontro T, como mostra o detalhe.



Fonte: Autor.

Destaca-se, ainda, a dificuldade de visualização dos problemas e de possíveis soluções, devido ao uso exclusivo de desenho em 2D (plantas e vistas). Tal carência levou à necessidade de se prosseguir para o momento seguinte, onde foi realizado o primeiro nível de programação, em *script*, dando início ao uso do *software* BIM.

## **7.2. Simulação dos parâmetros pré-definidos, utilizando a linguagem *script*.**

### **7.2.1. Criação da família de blocos cerâmicos em objeto GDL.**

Para dar início aos estudos em GDL, primeiramente foi necessária a criação dos objetos paramétricos que representariam os blocos cerâmicos – componentes básicos de uma alvenaria a ser representada.

O GDL (*Geometric Description Language*) é uma linguagem de programação paramétrica estruturada, própria do *software* ArchiCAD, com sintaxe simples e semelhante à do *Visual Basic*. Seus comandos permitem a criação de todos os primitivos geométricos e também elementos construtivos nativos do programa (paredes, pilares, laje, dentre outros), com opções para representação 2D e 3D (GRAPHISOFT, 2010; AYRES, 2009; NICHOLSON-COLE, 2000).

Um objeto GDL é basicamente um conjunto de *scripts* 2D e 3D, que trabalha com variáveis e operações pré-estabelecidas. Tais variáveis são os denominados parâmetros, assim, o conceito de objeto paramétrico está vinculado à capacidade de criação e manipulação de variáveis.

Para a representação da família de blocos cerâmicos, inicialmente foram determinadas as seguintes variáveis, ou parâmetros:

- a) Largura;
- b) Comprimento;
- c) Altura;
- d) Material do bloco.

Tais parâmetros foram agrupados como “características do bloco” e são fundamentais para sua representação 2D e 3D.

Também foram previstos outros parâmetros, denominados “parâmetros de listagem”, que incluíram características adicionais relacionadas à extração de quantitativo, tais como fabricante e custo. Vale salientar que essas últimas não serão utilizadas nesse momento, mas foram acrescentadas como forma de exercício de possibilidades futuras para listagens e quantitativos.

Os blocos cerâmicos que compõem a família de blocos MEHIS incluem o bloco 1M (10cm x 10cm), o bloco 2M (10cm x 20cm) e o bloco 3M (10cm x 30cm). Todos os blocos possuem, ainda, um sistema de encaixe lateral que dispensam a junta vertical e permitem um assentamento de alinhamento horizontal mais preciso. Tais descrições são apresentadas em maiores detalhes nos itens 6.1.3 e 7.1 do presente trabalho.

A linguagem GDL permitiria duas formas de criação da família de blocos cerâmicos.

A primeira consiste na criação dos diferentes blocos cerâmicos como um único objeto paramétrico dinâmico, onde as características dimensionais poderiam ser alteradas na janela de interface que é manuseada pelo próprio usuário final, não pelo programador. Assim, um único objeto paramétrico apresentaria as opções de representar o bloco 1M, o bloco 2M e o bloco 3M, apenas com a alteração de seu parâmetro “comprimento”.

A segunda opção inclui a criação de três objetos paramétricos diferentes, onde as características dimensionais são parâmetros fixos, sem possibilidade de alteração por parte do usuário final, e que representam separadamente os tipos 1M, 2M e 3M.

Nessa fase de programação que inclui apenas a opção de *script*, considerando que não haverá automatização de funções e a distribuição dos blocos cerâmicos será feita manualmente, foi escolhida a segunda opção: criação de objetos paramétricos separados para representar cada tipo de bloco cerâmico.

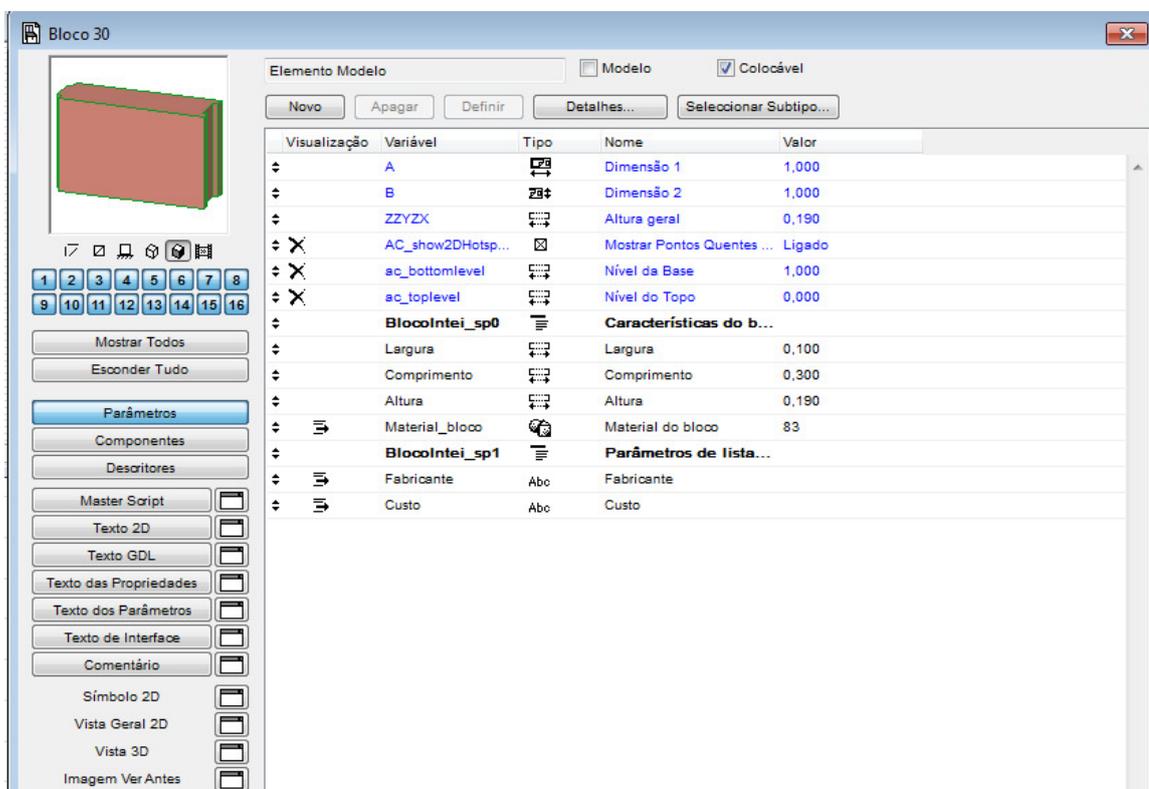
Para exemplificar o procedimento de criação do objeto GDL, será utilizado o bloco cerâmico principal – 3M (10 cm x 30 cm), visto que, para a criação posterior dos blocos complementares, foram realizadas apenas alterações no comprimento, mantendo a mesma sintaxe e disposição de parâmetros.

Na janela de trabalho denominada “Parâmetros”, encontra-se a lista de variáveis referentes a valores, fixos ou dinâmicos, relacionados à geometria, representação e outras características adicionais do objeto. Nessa lista, foram inclusos os parâmetros mencionados anteriormente como “características do bloco” e “parâmetros de listagem”, além de definidos os valores fixos para o bloco do tipo 3M, no que diz respeito à altura, largura, comprimento e o tipo de material (figura 31).

Após a definição dos parâmetros e seus devidos valores, foi realizada a construção da geometria 3D do objeto e a determinação do seu símbolo 2D e do seu símbolo de pré-visualização, consecutivamente.

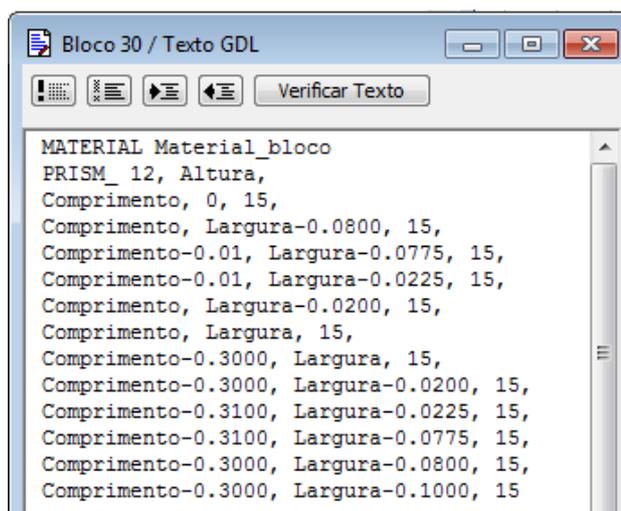
Para a geometria 3D, foi utilizada a linguagem em *script*, escrita em código GDL na janela de trabalho denominada “Texto GDL”. Os códigos são referentes à descrição física do bloco cerâmico, com a utilização das variáveis dimensionais determinadas previamente na janela de parâmetros (figura 32).

Figura 31 – Área de trabalho para criação e edição de um objeto GDL, com a janela de “Parâmetros” selecionada, permitindo observar que variáveis foram incluídas para o Bloco 3M, de comprimento 30 cm.



Fonte: Autor.

Figura 32 – Janela de trabalho “Texto GDL”, utilizada para a inclusão dos códigos GDL, referentes à geometria do objeto Bloco 3M (30 cm).



Fonte: Autor.

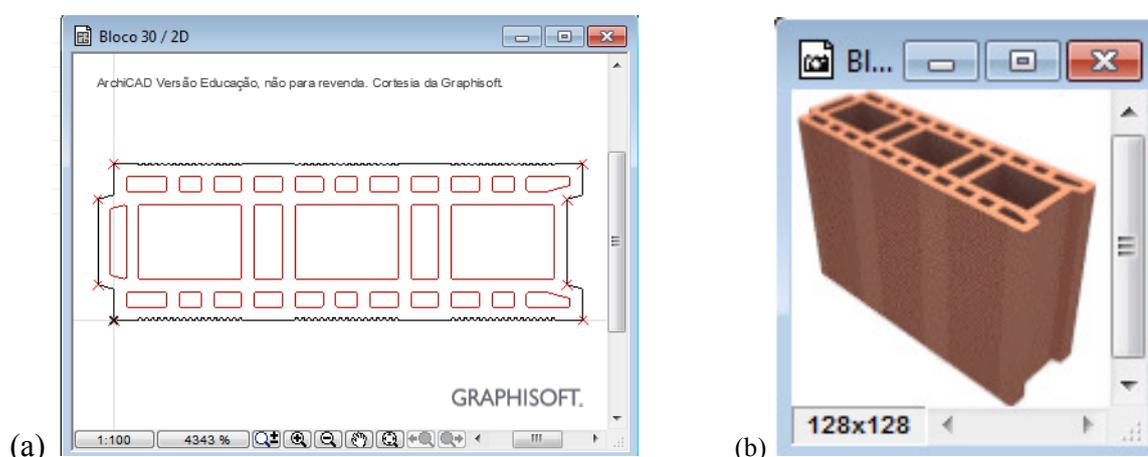
Para a representação 2D, haveria a possibilidade de se utilizar a linguagem em *script*, de característica dinâmica, descrita em código GDL na janela de trabalho “Texto 2D”, ou a

utilização de um desenho fixo, inserido como uma representação estática na janela de trabalho “Símbolo 2D”.

Considerando que, nessa etapa, cada bloco cerâmico será um objeto específico e, portanto, suas características geométricas serão fixas, optou-se pela utilização de uma representação estática em 2D, desenhada em AutoCAD e exportada para o ArchiCAD (figura 33a). Tal opção evitou a necessidade de um aumento de complexidade de programação, necessária para a representação do bloco cerâmico em planta, mais detalhada que em perspectiva, onde os blocos aparecem sempre sobrepostos.

Para a imagem de pré-visualização, apresentada na biblioteca do ArchiCAD quando o usuário final seleciona o objeto GDL em questão para incluí-lo em seu modelo, foi adotada estratégia semelhante. Na janela de trabalho “Imagem Ver Antes”, foi inserida uma imagem externa, modelada e renderizada no *software* Sketch-up, como representação real do objeto GDL (figura 33b).

Figura 33 – Representação do objeto paramétrico referente ao Bloco 3M (30 cm) em planta (a) e sua pré-visualização (b).



Fonte: Autor.

Assim, foram criados os objetos paramétricos referentes aos blocos cerâmicos da família MEHIS para dar início à simulação em linguagem *script*.

É importante salientar que a linguagem *script* apresenta escopo reduzido e não oferece tanta liberdade para o programador interferir no aplicativo original, portanto, sua função é a geração dos objetos paramétricos referentes aos blocos cerâmicos.

Nessa fase de simulação dos parâmetros pré-definidos em linguagem *script*, os processos ainda não serão automatizados e as distribuições dos blocos cerâmicos ao longo das alvenarias serão realizadas manualmente, utilizando os objetos paramétricos em ambiente virtual BIM.

Suas vantagens em relação ao momento anterior, quando foi utilizado apenas o desenho 2D, são:

- a) Melhor visualização das informações e maior comunicação entre os integrantes da equipe, visto que, com o modelo BIM, desenho 2D e desenho 3D são trabalhados de forma integrada;
- b) Antecipação do estudo dos objetos paramétricos, que também serão utilizados para a etapa de validação, durante a geração do *plug-in*;
- c) A revisão dos parâmetros e configurações em linguagem *script* permitiu uma primeira aproximação com o ambiente virtual BIM, em uma situação de menor complexidade que o *plug-in*. Assim, mesmo com a utilização de menor conhecimento na área de programação, foi possível a antecipação de desafios a serem enfrentados na etapa posterior.

### **7.2.2. Revisão dos parâmetros, utilizando a linguagem GDL.**

Para dar início à revisão dos parâmetros com a utilização da linguagem GDL, primeiro é importante resumir o resultado pré-estabelecido no momento anterior (item 7.1).

O procedimento geral estabelecido incluiu:

- a) Identificação e classificação das dimensões de cada alvenaria em R1, R2 e R3, conforme a divisão de seu comprimento total por 30 cm (comprimento do bloco principal) e a verificação do resto da divisão;
- b) Identificação e classificação dos encontros entre alvenarias em L (R1, R2, R3), podendo ser do tipo interrompido ( $L_i$ ) ou contínuo ( $L_c$ ), e T (R1, R2, R3);
- c) Preenchimento de cada alvenaria com os blocos cerâmicos, de acordo com a classificação pré-estabelecida, na sequência L e T;
- d) Preenchimento da segunda fiada de cada alvenaria, como decorrência do estabelecido para a primeira fiada, respeitando-se os parâmetros determinados para a alvenaria isolada (item 7.1.1) e as configurações levantadas para o tipo específico de encontro (itens 7.1.2 e 7.1.3);
- f) Preenchimento das fiadas ímpares de acordo com a primeira fiada e das fiadas pares com a segunda fiada.

Quando aplicado aos projetos de HIS previamente selecionados (item 7.1.4), o procedimento apresentou duas limitações: 1. ausência de critérios para definir a escolha entre encontros em L do tipo interrompido e do tipo contínuo, a ser verificada nos estudos a seguir; 2. os

encontros em T se mostraram mais determinantes que os encontros em L para a configuração geral da planta, portanto devem dar início à distribuição dos blocos cerâmicos em cada alvenaria.

Assim, a partir do procedimento inicial e considerando tais observações, foi realizado um primeiro estudo genérico utilizando os objetos paramétricos em GDL: o estabelecimento das configurações possíveis para um conjunto paredes, organizadas em uma disposição com baixa complexidade, que previsse encontros dos tipos Li, Lc e T.

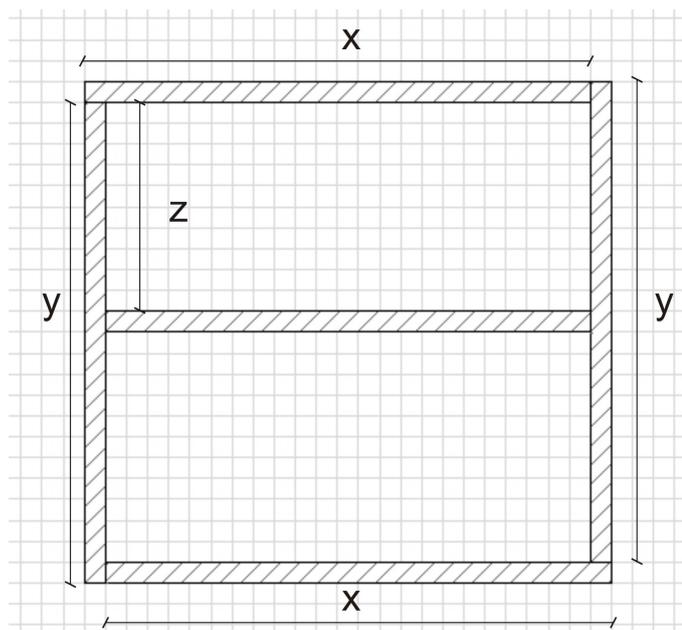
A disposição adotada partiu de um quadrilátero de dimensões X e Y quaisquer, com encontros alternados em Li e Lc, interceptado por uma parede de extremo a outro, gerando encontros em T em suas extremidades.

As variáveis X e Y foram substituídas por valores relativos às dimensões de resto R1, R2 e R3, buscando verificar as distribuições possíveis de blocos cerâmicos, a partir das diferentes combinações entre encontros Li e Lc.

O mesmo raciocínio foi utilizado para os encontros em T, através de uma terceira dimensão Z, relativa a um determinado trecho de alvenaria, limitado por um encontro T e um encontro L qualquer. A dimensão Z também foi substituída por valores condizentes aos restos R1, R2 e R3.

A disposição padrão adotada para as paredes, com a indicação das respectivas variáveis X, Y e Z, podem ser verificadas na figura 34.

Figura 34 – Disposição padrão adotada e suas respectivas variáveis, a serem substituídas por valores referentes a dimensões de resto R1, R2 e R3.



Fonte: Autor.

Assim, foram mapeadas 9 combinações para os diferentes valores de X e Y, permitindo o levantamento das diferentes possibilidades para os encontros em L, contínuos ou interrompidos. Cada uma dessas combinações, foi desmembrada em 3 opções, relativas aos valores de Z para R1, R2 e R3, resultando na investigação de um total de 27 combinações diferentes, listadas no quadro 6.

Quadro 6 – Lista das combinações levantadas para a investigação de combinações possíveis entre encontros em Li, Lc e T.

COMBINAÇÃO	X-Y	X-Y-Z
C1	R1-R1	R1-R1-R1
		R1-R1-R2
		R1-R1-R3
C2	R1 - R2	R1-R2-R1
		R1-R2-R2
		R1-R2-R3
C3	R1 - R3	R1-R3-R1
		R1-R3-R2
		R1-R3-R3
C4	R2 - R1	R2-R1-R1
		R2-R1-R2
		R2-R1-R3
C5	R2 - R2	R2-R2-R1
		R2-R2-R2
		R2-R2-R3
C6	R2 - R3	R2-R3-R1
		R2-R3-R2
		R2-R3-R3
C7	R3 - R1	R3-R1-R1
		R3-R1-R2
		R3-R1-R3
C8	R3 - R2	R3-R2-R1
		R3-R2-R2
		R3-R2-R3
C9	R3 - R3	R3-R3-R1
		R3-R3-R2
		R3-R3-R3

Fonte: Autor.

Com o mapeamento de todos os casos, foi possível observar recorrências de configurações semelhantes, mesmo para combinações diferentes. Para torná-las mais evidentes e facilitar sua visualização, foram adotadas cores específicas para os blocos cerâmicos complementares (azul para o bloco 2M e amarelo para o bloco 3M) na representação 3D e hachuras na representação 2D.

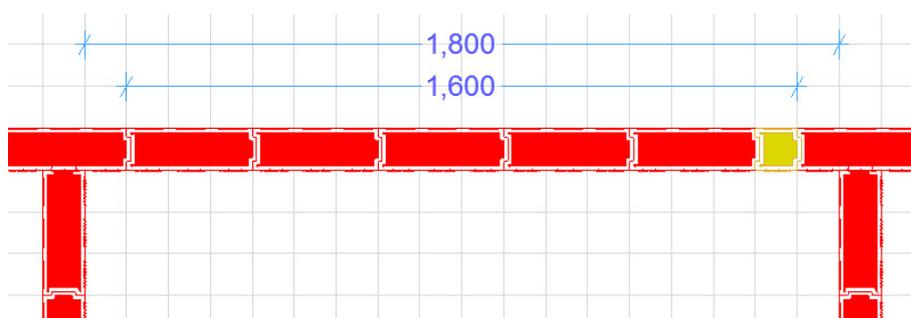
Para os encontros em L, foi confirmada a necessidade de diferenciação entre paredes contínuas (Lc) e paredes interrompidas (Li), não havendo recorrências entre elas.

Como já havia sido observado na aplicação dos parâmetros pré-estabelecidos nos projetos em desenho 2D (item 7.1.4), para os encontros em T, existe a possibilidade de se dividir a parede que recebe o encontro em dois segmentos independentes. Essa observação é importante para casos em que uma mesma parede recebe vários encontros em T, pois, tratando cada segmento como independente, é possível considerar como variável apenas o seu comprimento (R1, R2 e R3), independente de quantos encontros sejam.

A delimitação dos segmentos do encontro em T ocorre a partir do bloco 3M central que recebe a parede em T. Comum a ambos os segmentos, tal bloco não é incluso na dimensão para sua classificação em R1, R2 e R3.

A figura 35 exemplifica essa situação através de um segmento de alvenaria delimitado por dois encontros em T. Apesar do vão entre as paredes internas ser de 1,80m, para efeito de classificação do segmento só é considerado 1,60m, com a exclusão do bloco 3M central que recebe tais paredes. O segmento, então, é classificado como TTR1, e recebe um bloco complementar de 10 cm.

Figura 35 – Exemplo de segmento de alvenaria delimitado por dois encontros em T, classificado como TTR1.



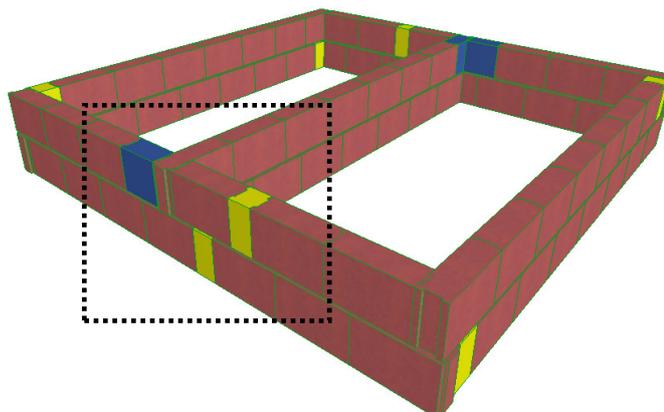
Fonte: Autor.

Foi possível, ainda, verificar casos específicos em que, se colocados todos os blocos complementares nas extremidades dos segmentos, haveria encontro de juntas na vertical, resultando no problema de junta a prumo. A solução foi o deslocamento do bloco complementar da segunda fiada, de forma a desencontrar as juntas (figura 36).

O mapeamento prévio das configurações é justificável, portanto, para a verificação de recorrências e para a garantia de que não seja aberto precedente para a geração de soluções que, não tendo sido previstas, tragam problemas de projeto e execução.

Assim, a partir desse estudo, foram revisados os tipos de encontro e suas respectivas configurações, além de agrupadas as recorrências, facilitando sua organização para posterior identificação. Como resultado foi gerado uma tabela de configurações, relacionando em pares todos os tipos de encontros levantados, para as dimensões R1, R2 e R3.

Figura 36 – Exemplo de encontro, onde foi necessário o deslocamento do bloco complementar da segunda fiada para evitar o problema de junta a prumo.



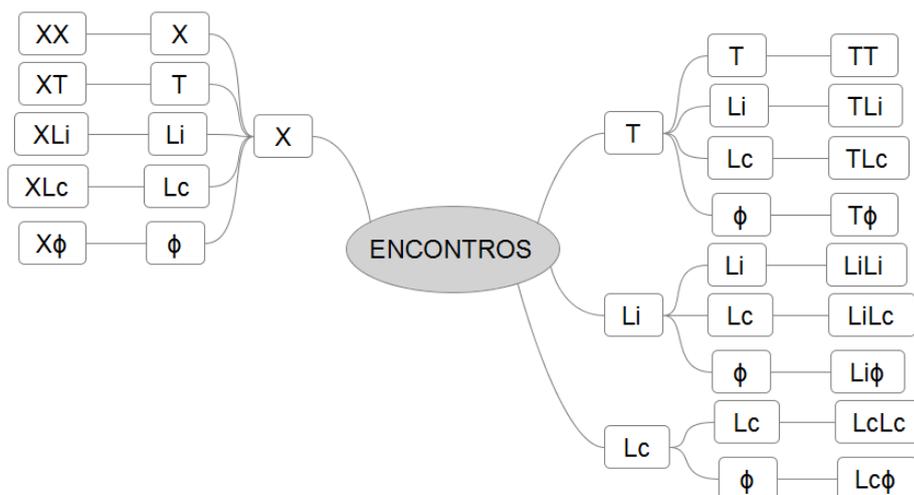
Fonte: Autor.

Em resumo, os encontros levantados incluem: encontro em Li, encontro em Lc, encontro em T, e extremidade livre, que será representada pelo símbolo  $\phi$ . Consequentemente, os pares levantados foram: TT, TLi, TLc, LiLi, LiLc, LcLc, T $\phi$ , Li $\phi$ , Lc $\phi$  (figura 37).

Os 9 pares foram organizados em 5 grupos, de acordo com a identificação de semelhanças para o posicionamento dos blocos complementares (10cm e 20 cm).

Devido à sua complexidade, o encontro em X foi estudado em separado, somente após o amadurecimento das configurações para os encontros em T, Li e Lc, portanto, as combinações que o incluem foram agrupadas posteriormente. Os pares levantados para o encontro em X foram: XX, XT, XLi, XLc e X $\phi$ , como pode ser observado na figura 37, e organizados em 4 grupos, segundo o mesmo critério de levantamento de recorrências.

Figura 37 – Todas as combinações de encontros, levantadas para a geração da tabela de configurações.



Fonte: Autor.

A tabela final (Apêndice B) apresenta, assim, todas as configurações mapeadas para os encontros em X, T, Li, Lc e extremidade livre ( $\phi$ ), distribuídas em 8 grupos, de acordo com as

recorrências encontradas. Os grupos de 01 a 05 envolvem os pares formados apenas por encontros T, Li, Lc e  $\phi$ , enquanto os grupos de 06 a 08 envolvem todos os pares que incluem o encontro em X, estudado em separado e em um momento posterior, devido à sua maior complexidade.

### ***7.2.3. Aplicação dos parâmetros revisados – projetos em desenho GDL.***

Com a revisão dos parâmetros e a geração da tabela de configurações, foi realizada uma nova aplicação nos projetos A e B para a conferência das correções e o encerramento da etapa de desenvolvimento. Para tanto, contou-se com os blocos cerâmicos modelados em GDL e o ambiente virtual do *software* ArchiCAD.

O procedimento da primeira aplicação, apresentada no item 7.1.4, precisou ser revisto em função dos problemas encontrados, com destaque para os encontros L e T. O que se percebeu foi que, antes de se identificar e classificar as dimensões das alvenarias (R1, R2, R3) é necessário locar os blocos das extremidades, característicos de cada encontro (L, T, X), para só então determinar o comprimento do vão restante. Com os blocos das extremidades pré-fixados, é garantido que não haverá necessidade de deslocamento posterior das paredes para a acomodação das configurações corretas em casos imprevistos, como o ocorrido no item 7.1.4 (figura 30).

Vale ressaltar que esse procedimento se refere aos blocos da primeira fiada, visto que a distribuição dos blocos da segunda fiada se dá em decorrência das configurações já pré-determinadas como parâmetros registrados em tabela (Apêndice B).

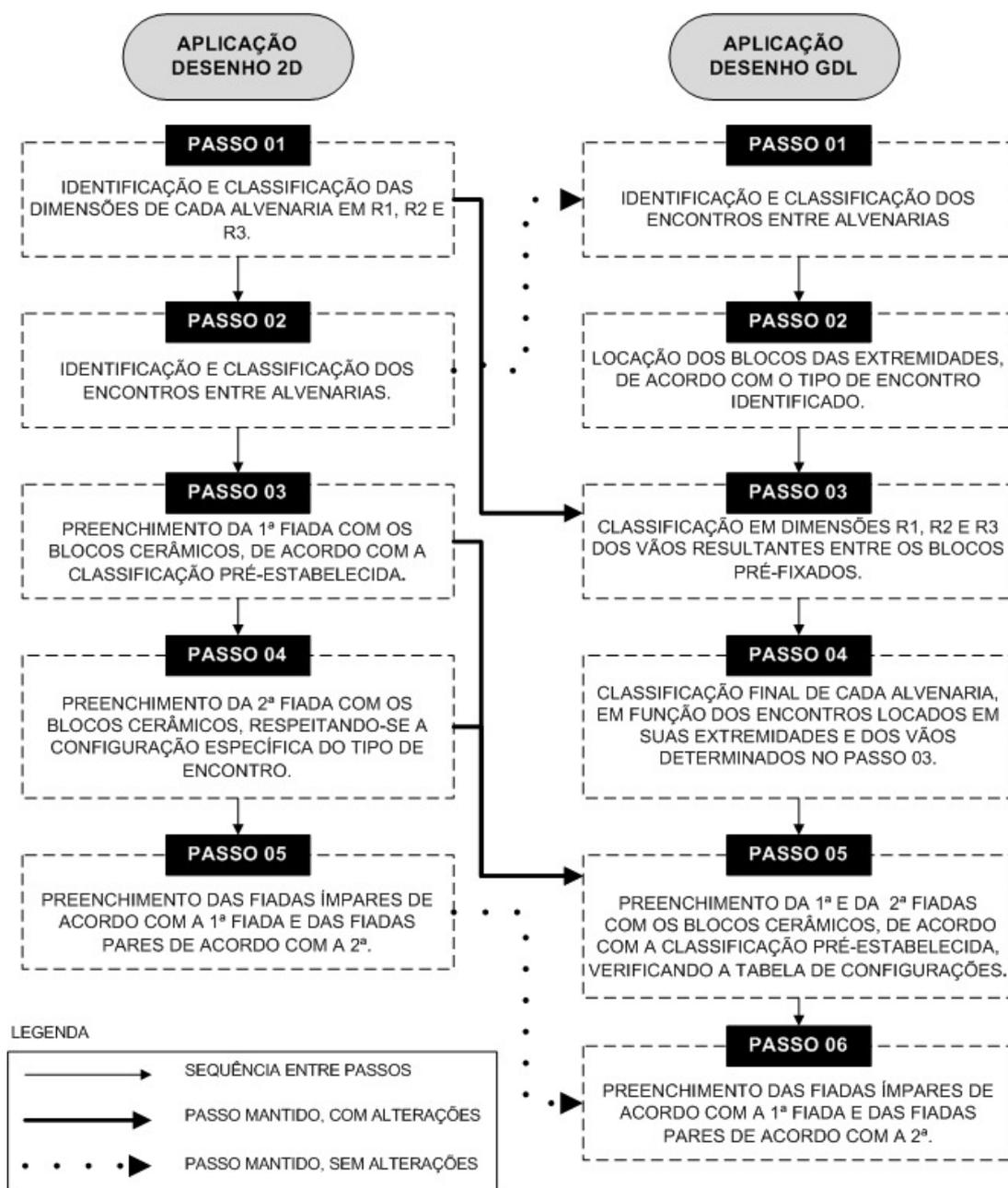
O procedimento revisado foi composto, assim, pelos seguintes passos:

- a) Identificação e classificação dos encontros entre alvenarias em L, T, X, ou ainda extremidade livre;
- b) Locação dos blocos das extremidades de cada alvenaria, de acordo com o tipo de encontro identificado, ou ainda extremidade livre;
- c) Classificação em dimensões R1, R2 e R3 dos vãos resultantes entre os blocos pré-fixados;
- d) Classificação final de cada alvenaria em função dos encontros locados em suas extremidades (X, T, Li, Lc ou extremidade livre) e dos vãos determinados no item c (R1, R2, R3);
- e) Distribuição dos blocos cerâmicos para a primeira e segunda fiada de cada alvenaria, de acordo com a sua classificação e respectiva configuração, pré-estabelecida e registrada na tabela do Apêndice B;
- f) Preenchimento das fiadas ímpares de acordo com a primeira fiada e das fiadas pares com a segunda fiada.

Esse procedimento permite, ainda, a determinação prévia se a parede será contínua ou interrompida para os encontros em L, além de evitar qualquer hierarquização entre os encontros X, T e L, visto que todos serão locados no mesmo passo (item b), sem preferência de ordem.

A figura 38 mostra uma comparação entre o procedimento proposto no momento anterior (desenho 2D – item 7.1.4) e o procedimento agora revisado (desenho GDL), com destaque para as alterações realizadas.

Figura 38 – Comparação do procedimento realizado com o desenho 2D e com o desenho GDL, após revisão.



Fonte: Autor.

É possível observar que, apesar de a sequência ter sido re-estabelecida, todos os passos da primeira aplicação foram mantidos, com ou sem alteração. A principal mudança consistiu na determinação de que os blocos de extremidade, característicos de cada tipo de encontro, deverão ser pré-fixados para só então ser realizada a classificação das dimensões em R1, R2, R3.

Em resumo, a classificação de cada alvenaria se dará em função dos encontros em suas extremidades e da dimensão do vão estabelecido entre os blocos pré-fixados na primeira fiada. A partir dessa classificação, a configuração dos blocos cerâmicos para as fiadas pares e ímpares podem ser verificadas na tabela gerada no item 7.2.2 e presente no Apêndice B.

O procedimento revisado foi aplicado nos projetos A e B, com a distribuição manual dos blocos cerâmicos em formato de objeto GDL, seguindo cada passo anteriormente descrito.

Para uma melhor compreensão do processo, será exemplificada a aplicação no projeto A, a seguir.

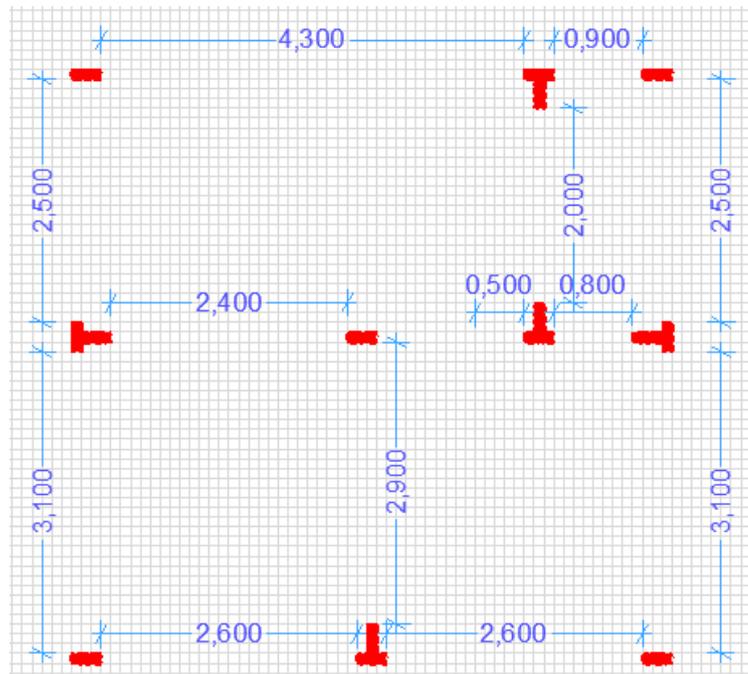
Com o auxílio da malha própria do ambiente de trabalho do ArchiCAD, e adotado um espaçamento de 10 cm, conforme o módulo decimétrico, foram locados os blocos das extremidades de cada parede, de acordo com a mesma configuração em planta utilizada para a primeira aplicação (item 7.1.4).

É importante salientar que o passo de locação dos blocos só é válido para os casos que envolvem apenas o bloco principal 3M (30 cm), visto que para configurações contendo blocos complementares em sua extremidade é necessário consultar a tabela.

Assim, os blocos serão pré-fixados sempre em extremidades que incluam os encontros em X e em T, sem restrições. Nos casos de encontro em L, só serão pré-fixados os blocos da extremidade da alvenaria contínua, visto que em determinadas situações, a alvenaria interrompida pode apresentar blocos complementares 2M (20 cm) e 1M (10 cm) em suas extremidades. Por fim, para alvenaria de extremidade livre, o bloco não será prefixado. Todos esses casos podem ser observados na figura 39 que exemplifica a locação dos blocos para o projeto A, com casos de encontro em T, em L e em extremidade livre. Os vãos demarcados foram cotados para a posterior classificação de cada segmento.

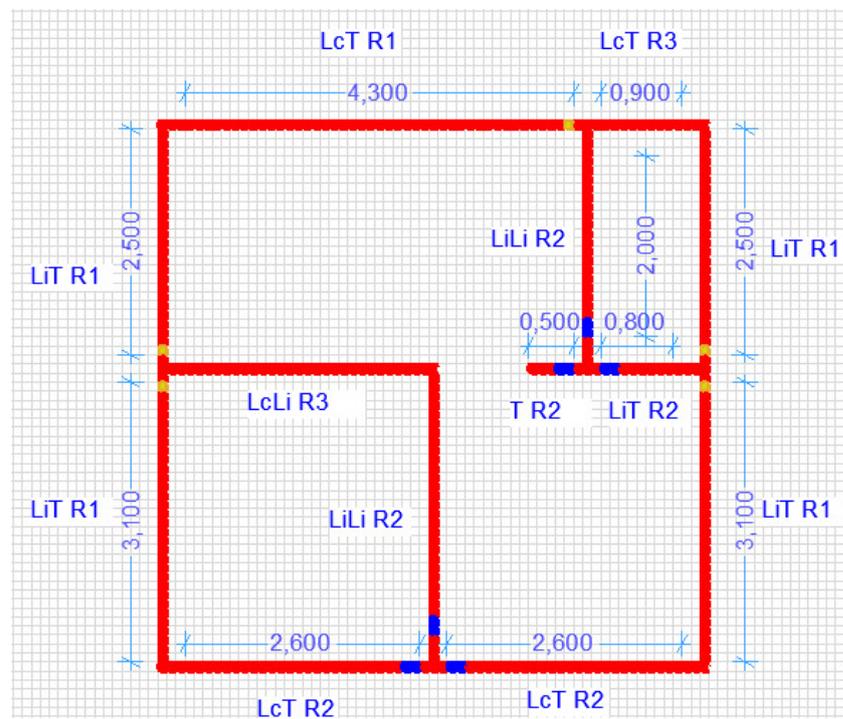
A classificação de cada segmento foi realizada em função dos encontros que o delimitam e da dimensão verificada nos vãos demarcados (R1, R2, R3). Os blocos cerâmicos da primeira fiada foram distribuídos, conforme a configuração pré-estabelecida para sua respectiva classificação, conforme está representado na figura 40.

Figura 39 – Locação dos blocos principais e determinação dos vãos para o projeto A.



Fonte: Autor.

Figura 40 – Classificação dos segmentos e distribuição dos blocos cerâmicos para a primeira fiada.



Fonte: Autor.

Seguindo o mesmo raciocínio, foram distribuídos os blocos da segunda fiada, e assim sucessivamente para as fiadas pares e ímpares.

O resultado foi satisfatório, visto que as paginações das alvenarias de ambos os projetos foram representadas corretamente com a utilização dos parâmetros estabelecidos. Dessa forma conferiu-se a aplicabilidade, tanto das configurações revisadas em tabela, quanto do procedimento revisado.

### **7.3. Programação do *plug-in* a partir dos parâmetros determinados.**

O momento de programação do *plug-in* consistiu na customização do aplicativo original (ArchiCAD) através da incorporação dos parâmetros estabelecidos na etapa anterior.

Para tanto, foi utilizada sua biblioteca de funções, denominada API (*Application Programming Interface*), que compreende um ambiente disponibilizado pelo próprio *software* para que os programadores possam gerar novas ferramentas (ou “*add-ons*”), aumentando sua funcionalidade. No caso do ArchiCAD, a linguagem de programação utilizada para tanto é o C ou C++ (GRAPHISOFT, 2011).

A participação do bacharel em computação nesse momento foi fundamental e as reuniões de equipe, antes semanais, foram reforçadas para duas vezes por semana, visto a importância de uma maior interação e acompanhamento por parte de toda a equipe na conclusão do produto final.

#### **7.3.1. Estudo da documentação API e estabelecimento da estratégia de programação.**

Para dar início à programação, o primeiro passo foi a compreensão de como o software ArchiCAD descreve o objeto paramétrico parede (*wall*) a fim de se perceber as possibilidades de manipulação e inserção de informações.

Assim como no procedimento realizado para a geração dos parâmetros (capítulo 7), nessa etapa também houve a necessidade de se investigar primeiramente a alvenaria como objeto único e isolado, para só posteriormente se verificar como seriam estabelecidas as relações entre alvenarias diferentes (encontros).

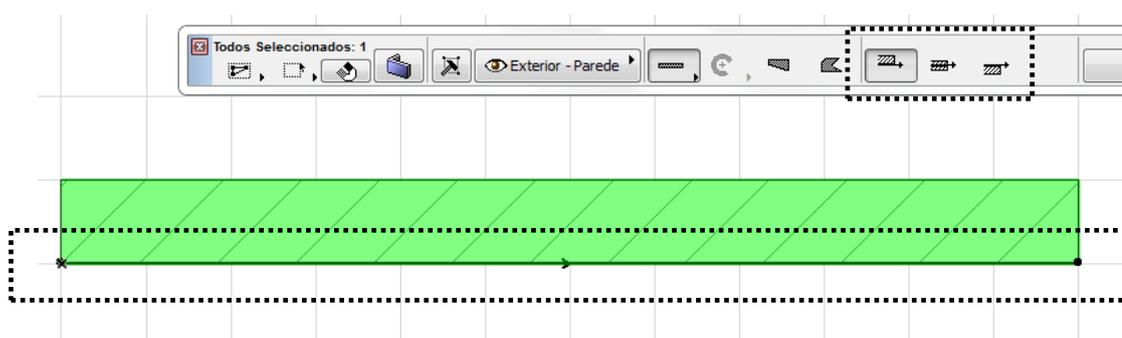
Para a descrição da alvenaria isolada, as características dimensionais (altura, espessura e comprimento) foram referenciadas a partir dos seguintes comandos de descrição do objeto parede (*wall*), retirados do API\_WallType (Anexo A):

- a) begC – coordenada de início do objeto parede;
- b) endC – coordenada de final do objeto parede;
- c) Top – altura do objeto parede, contada a partir de sua base;
- d) Dir – localização da linha de referência, utilizada na construção do objeto parede.

O comprimento da alvenaria é identificado através das coordenadas de início e final do objeto parede, enquanto a altura é fornecida pelo comando Top diretamente. A espessura, constante e com o valor de 10 cm, não trará necessidade de cálculos, não precisando, portanto, ser referenciada. Ela é determinada pelo próprio usuário no momento de construção do objeto.

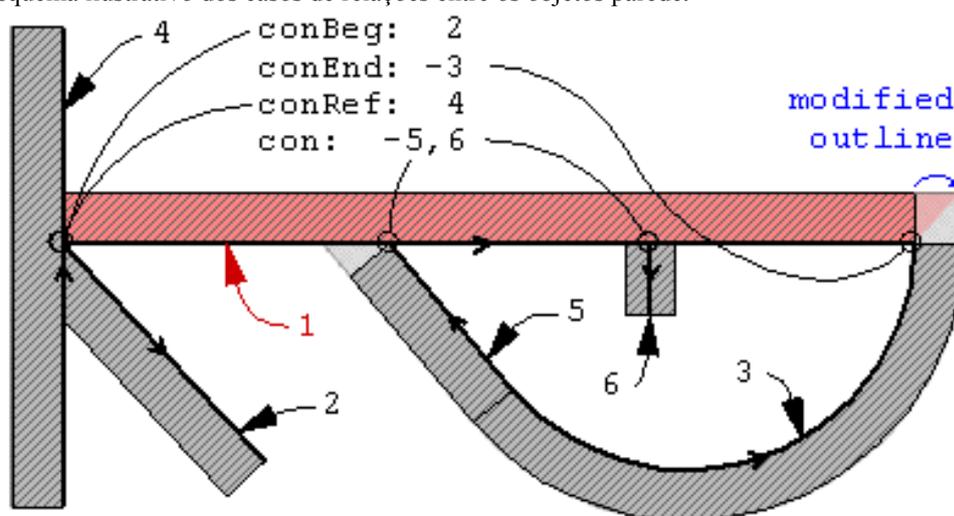
O comando Dir, relativo à linha de referência de construção do objeto parede, não tem relação direta com as características dimensionais da alvenaria, mas é fundamental para o controle do posicionamento dos blocos cerâmicos. Essa linha de referência simboliza a direção e sentido da construção da parede e, ao criar esse tipo de objeto, são disponibilizados ao usuário três métodos de construção (esquerda, centro e direita) referentes a que lado o corpo da parede irá se projetar em relação a ela (figura 41).

Figura 41 – Exemplo de objeto parede desenhado no método de construção “esquerda” (selecionado). Em destaque, é possível observar a presença da linha de referência, que indica a direção e sentido de sua construção.



Fonte: Autor.

Figura 42 – Esquema ilustrativo dos casos de relações entre os objetos parede.



Fonte: GRAPHISOFT, 2011.

Em seguida, para dar início à representação dos encontros entre alvenarias, foi verificado como são referenciadas as conexões realizadas entre objetos paredes diferentes, a partir

do API\_WallRelation (Anexo B). Nesse caso, também foi observado que a linha de referência de construção desempenha função essencial para o reconhecimento das conexões por parte do *software*, como mostra a figura 42.

Cada linha de referência é listada de acordo com o tipo de conexão estabelecido. A figura mostra que o objeto parede destacado, de linha de referência 1, lista todos os objetos parede conectados a ele, de acordo com o comando que classifica o tipo de conexão.

Tais comandos são referenciados segundo a posição em que ocorre a conexão, tanto em relação à extensão do objeto parede selecionado, quanto ao encontro entre as linhas de referência dos objetos conectados. Os comandos representados na figura 42 são:

- a) conBeg: lista de paredes conectadas ao ponto de início do objeto parede selecionado, através do seu ponto de início ou ponto de final. Os dois objetos parede se conectam, assim, através de suas extremidades, porém sempre no ponto de início do objeto selecionado;
- b) conEnd: lista de paredes conectadas ao ponto de final do objeto parede selecionado, através do seu ponto de início ou ponto de final. Os dois objetos parede se conectam, assim, através de suas extremidades, porém sempre no ponto de final do objeto selecionado;
- c) conRef: lista de paredes conectadas através de sua linha de referência ao ponto de início ou ao ponto de final do objeto parede selecionado. O encontro ocorre entre a extensão de um objeto parede qualquer e a extremidade (início ou fim) do objeto parede selecionado;
- d) con: lista de paredes conectadas à linha de referência do objeto parede selecionado, fora do seu ponto final. O encontro ocorre entre a extremidade (início ou fim) de um dos objetos parede e a extensão do objeto parede selecionado.

Tais diferenciações abrangem as características específicas para cada tipo de encontro (Lc, Li, T e X), possibilitando meios para que o *plug-in* reconheça suas ocorrências. Porém, essas diferenciações estão diretamente associadas à forma de construção da linha de referência do objeto parede, gerando restrições a serem investigadas posteriormente.

Após a verificação de como o *software* ArchiCAD reconhece e representa as características do objeto parede e suas formas de conexão, foi possível dar início à programação da distribuição dos blocos cerâmicos para cada tipo de dimensão e encontro, seguindo os parâmetros previamente estabelecidos (item 7.2).

A programação seguiu a estrutura “*if...then*”, que se caracteriza pela determinação de uma condição a ser avaliada, podendo resultar em dois valores: *true* (verdadeiro) ou *false* (falso). Se a condição for verdadeira, os comandos pré-estabelecidos são executados.

A sequência de passos a serem tomados pelo *software* a partir do *plug-in* foi baseada na investigação realizada na etapa anterior, porém o programador teve total liberdade para propor novas alterações, caso julgasse necessário.

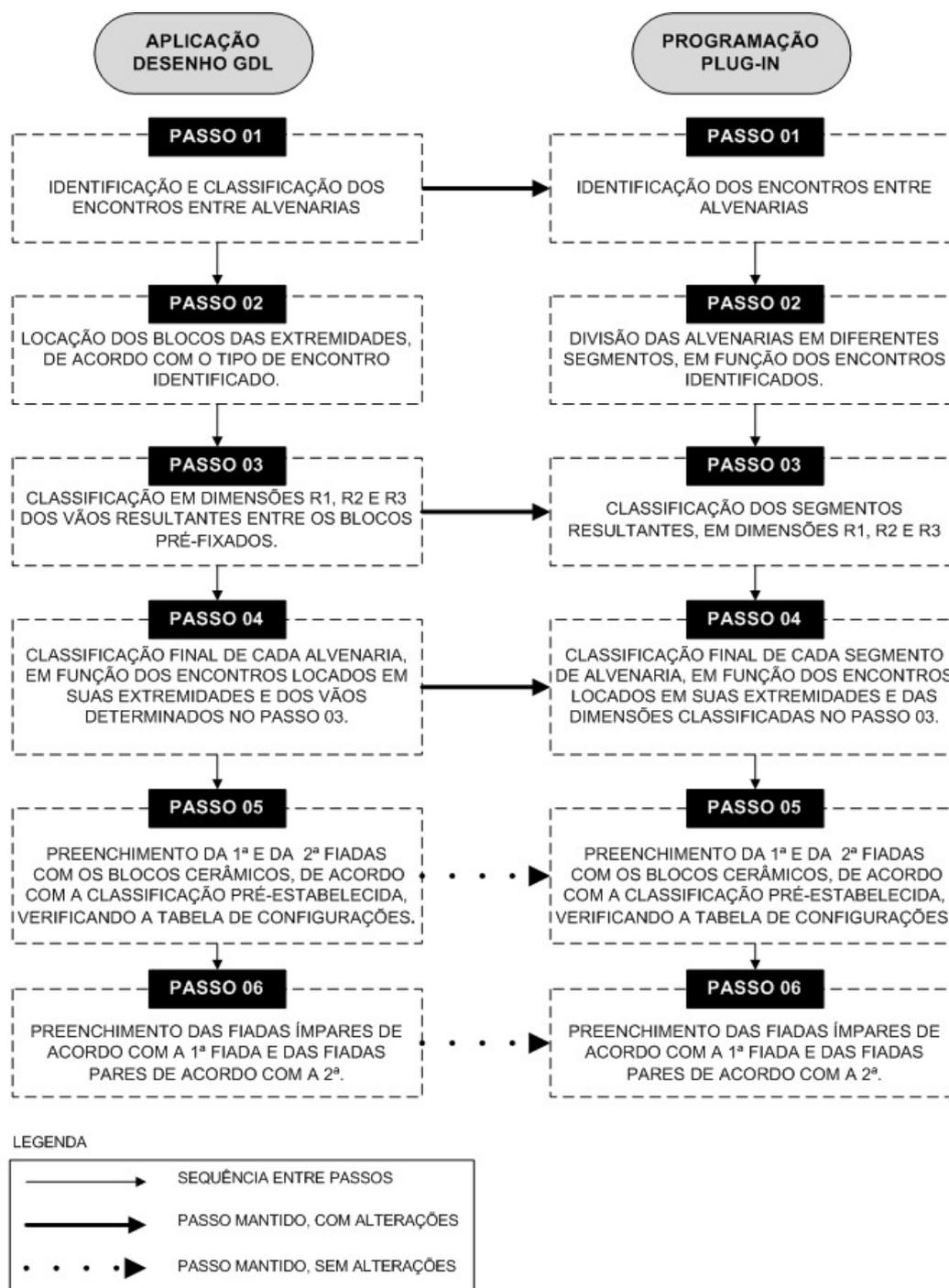
Assim, o procedimento a ser realizado automaticamente pelo *plug-in* foi composto pelos seguintes passos:

- a) Identificação dos locais onde ocorrem encontros entre alvenarias. No caso, o *plug-in* reconhece as conexões entre objetos parede, classificando-os de acordo com seus critérios;
- b) Divisão das alvenarias em diferentes segmentos a partir dos encontros identificados;
- c) Classificação desses segmentos em função do seu comprimento (R1, R2, R2), reconhecido a partir de cálculos utilizando sua coordenada de início e sua coordenada de final;
- d) Classificação final de cada segmento em função dos encontros localizados em suas extremidades (conexões) e das dimensões previamente classificadas (coordenadas);
- e) Preenchimento da primeira e da segunda fiadas com os blocos cerâmicos, de acordo com a classificação pré-estabelecida, verificando a tabela de configurações gerada no item 7.2;
- f) Preenchimento das fiadas ímpares de acordo com a primeira fiada e das fiadas pares de acordo com a segunda.

A figura 43 mostra uma comparação entre o procedimento revisado ao final da etapa de desenvolvimento, aplicada ao desenho GDL e o procedimento agora programado para ser realizado automaticamente pelo *plug-in*.

É possível observar que a sequência dos passos foi mantida, realizando-se apenas algumas alterações. A principal consistiu na exclusão do passo 02 da versão em GDL, quando os blocos de extremidade eram localizados manualmente pelo usuário, segundo o tipo de encontro identificado, para posterior geração dos vãos e classificação de suas dimensões em R1, R2 e R3 (figura 39).

Figura 43 – Comparação do procedimento revisado para o desenho GDL e o programado para ser realizado automaticamente pelo *plug-in*.



Fonte: Autor.

No caso do *plug-in*, os encontros entre alvenarias limitarão segmentos que devem ser reconhecidos e classificados, para posterior distribuição dos blocos cerâmicos, de acordo com sua respectiva configuração em tabela.

Nesse caso, os blocos de extremidade teriam de ser locados automaticamente junto aos outros de sua fiada e, considerando que o sistema computacional não teria discernimento para

diferenciá-los, alguns parâmetros precisariam ser mais detalhados para que o programador não tivesse dúvidas sobre o estabelecimento dos comandos.

### 7.3.2. Surgimento de dúvidas e refinamento dos parâmetros.

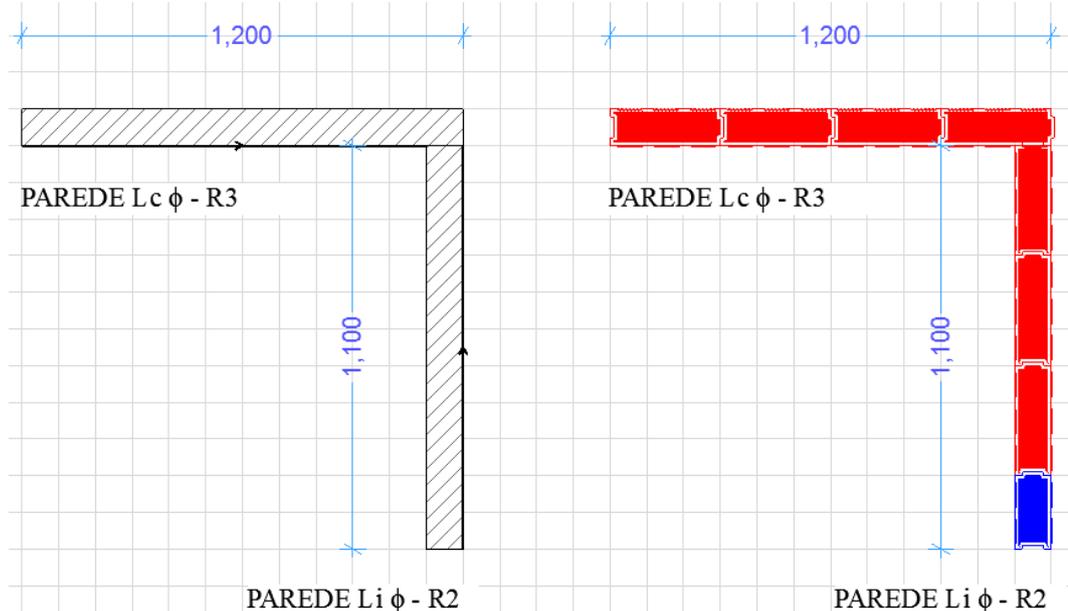
O maior detalhamento de parâmetros surgiu em função de duas necessidades:

- Especificação mais clara de como ocorrem as delimitações de segmento para cada tipo de encontro, para sua posterior classificação em R1, R2 e R3;
- Estruturação mais clara de todas as possibilidades de combinações entre encontros diferentes, partindo de uma alvenaria isolada.

Para a necessidade de se especificar como ocorrem as delimitações de segmento para cada tipo de encontro, foi verificado cada caso (Lc, Li, T e X), com o estabelecimento da relação entre como o objeto parede é representado originalmente no ambiente do ArchiCAD e como o *plug-in* deveria representar. Tal verificação será mostrada a seguir, salientando-se, ainda, que tais parâmetros são estabelecidos para a **primeira fiada**, visto que a distribuição dos blocos de segunda fiada se dá em decorrência das configurações já pré-determinadas em tabela.

Para os encontros em L, foi percebido que, quando se trata de um Lc, a delimitação do segmento acontece de fora a fora em planta, enquanto para o Li, só é contabilizado o vão interno entre paredes. Nesse caso, não haverá problemas para a programação, visto que o ambiente de trabalho do ArchiCAD permite que o próprio usuário tenha controle sobre que paredes são contínuas ou interrompidas no momento de desenhar encontros de canto, ou seja, em L.

Figura 44 – Exemplo de como são representados encontros em Lc e Li: à esquerda no ambiente de trabalho original do ArchiCAD e à direita o que se pretende com a aplicação do *plug-in*.

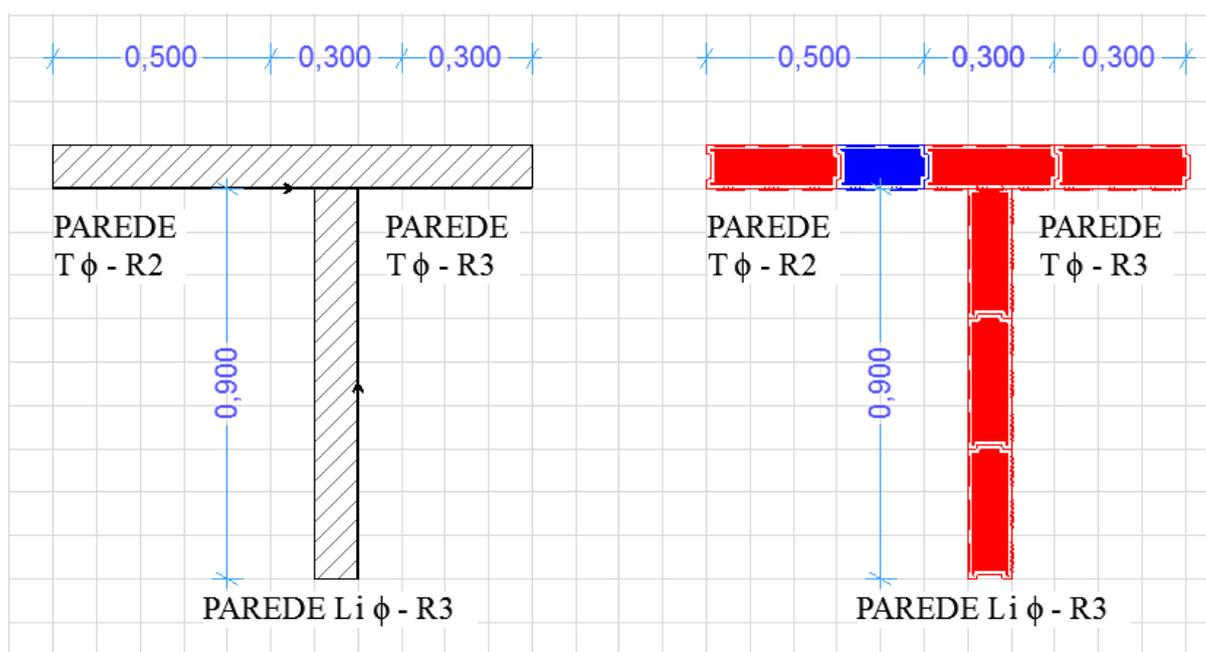


Assim, para determinar o comprimento das paredes nos encontros em L e classificá-lo em R1, R2 ou R3, o *plug-in* trabalhará com o comprimento total do segmento definido pelo próprio usuário na construção do seu objeto parede (figura 44).

Para os encontros em T, isso já não é possível, pois a delimitação de seus segmentos ocorre a partir do bloco 3M central que recebe a parede em T, como já havia sido verificado na versão em GDL (item 7.2.2). Comum a ambos os segmentos, tal bloco não é incluso na dimensão para sua classificação em R1, R2 e R3 (figura 35), por isso a necessidade de locá-lo manualmente primeiro para só então ser contabilizados os vãos restantes. Assim, na etapa de programação, foi necessário o estabelecimento de uma lógica para que, sempre que detectado um encontro em T, o *plug-in* locasse automaticamente esse bloco 3M central e excluísse sua dimensão do comprimento total dos dois segmentos de parede resultantes (figura 45). Vale salientar que a parede que “chega” no encontro em T é tratada como um encontro em Li, visto que sua extremidade é interrompida. Essa classificação já havia sido adotada previamente desde a etapa do desenho em GDL (figura 40).

Para os encontros em X, o raciocínio adotado foi semelhante ao de dois encontros em T, ocorrendo em uma mesma parede contínua. O usuário tem a liberdade de decidir na primeira fiada, através do ambiente de trabalho próprio do ArchiCAD qual parede será contínua e qual será interrompida para a primeira fiada.

Figura 45 – Exemplo de como é representado um encontro em T: à esquerda no ambiente de trabalho original do ArchiCAD e à direita o que se pretende com a aplicação do *plug-in*.



Fonte: Autor.

A segunda necessidade diz respeito ao surgimento de dúvidas por parte do programador no momento de estabelecer os comandos prévios que incluíssem todas as situações de encontros com as quais o *plug-in* poderia se deparar. As dúvidas surgiram devido à necessidade do programador ter conhecimento prévio de todas as combinações possíveis entre os diferentes encontros.

Assim, percebeu-se que, além do mapeamento de cada configuração de blocos cerâmicos de forma estática, como foi colocada em tabela no Apêndice B, era necessário que se representasse como os diferentes encontros se relacionam entre si de forma dinâmica.

Para tanto, foram realizados quadros, onde todas as configurações de encontros diferentes antes levantadas foram organizadas através de estágios de evolução, partindo da alvenaria isolada de cada tipo (R1, R2 e R3). Os quadros de evolução podem ser encontrados no Apêndice C.

Vale salientar a importância dessa organização de informações da forma mais clara e completa possível, visto que, se tratando de um trabalho interdisciplinar, a comunicação de conhecimentos específicos entre os profissionais de especialidades diferentes é fundamental para o êxito do produto final.

Assim, após o esclarecimento de dúvidas e refinamento dos parâmetros, foi realizada a programação da versão inicial do *plug-in*, com aplicação paralela aos projetos A e B para averiguação do seu correto funcionamento.

### **7.3.3. Programação do *plug-in* e aplicação prévia nos projetos A e B.**

A programação da versão inicial do *plug-in* teve por objetivo garantir a eficiência da ferramenta em distribuir corretamente os blocos cerâmicos de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos e revisados.

Paralelamente, foram realizadas aplicações prévias nos projetos A e B para a verificação de erros e averiguação de seu correto funcionamento.

O *plug-in* foi desenvolvido no Xcode, um ambiente de desenvolvimento integrado e *software* livre da Apple para gerenciamento de projetos relacionados ao sistema operacional do MacOS. Considerando que, no início da pesquisa, o ArchiCAD se encontrava na versão 14, foi mantida essa opção até a conclusão do trabalho.

Assim, a ferramenta desenvolvida consiste em um *plug-in* para o ArchiCAD 14, versão educacional, a ser utilizado no sistema operacional do MacOs.

A função básica desenvolvida consistiu na adição de uma nova aba, denominada “Alvenaria” (figura 46), contendo o comando “Gerar Fiadas”. Sempre que selecionado o comando

e clicado em um determinado objeto parede, sua paginação é gerada automaticamente através da distribuição dos blocos cerâmicos em formato GDL, conforme as configurações previamente estabelecidas.

Figura 46 – Nova ferramenta “Alvenaria” criada pelo *plug-in* no menu original do *software* ArchiCAD.



Fonte: Autor.

As aplicações prévias nos projetos A e B se mostraram satisfatórias, com o cumprimento correto da função para a qual o *plug-in* foi proposto e conclusão da prova de conceito proposta pela pesquisa.

A única restrição encontrada diz respeito ao papel fundamental exercido pelas linhas de referência do objeto parede para que o sistema computacional reconheça os encontros entre alvenarias e determine qual o seu tipo.

A consequência prática verificada é que, ao desenhar as paredes no ambiente de trabalho do ArchiCAD, o usuário deve garantir que suas linhas de referência se justaponham de forma correta sempre que houver um encontro.

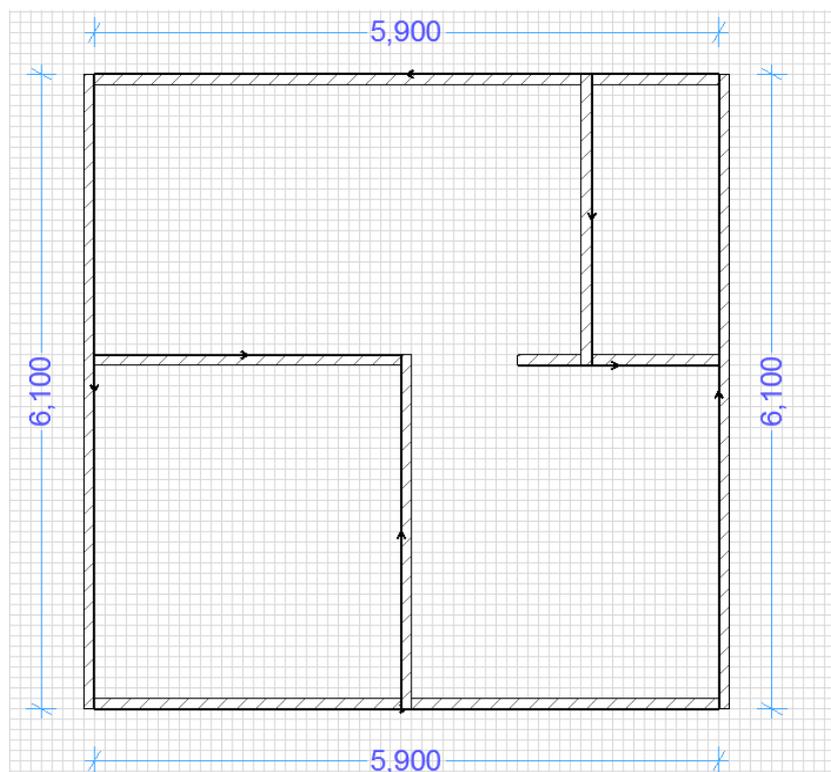
Essa restrição também pode ocasionar limitações em determinadas configurações de plantas, em especial para os encontros em L, como foi percebida no projeto A.

Por se tratar de um quadrilátero perfeito, caso se optasse por alternar encontros em Li e Lc nos vértices de suas paredes externas, não seria possível organizar as linhas de referência das paredes de forma que se encontrassem corretamente e, conseqüentemente, os encontros não seriam reconhecidos pelo *plug-in*. A solução adotada foi determinar que duas paredes fossem completamente interrompidas, enquanto duas paredes seriam completamente contínuas, sem qualquer prejuízo à solução arquitetônica ou construtiva prevista para o projeto (figura 47).

No que diz respeito ao sentido de construção da parede (da direita para a esquerda ou da esquerda para a direita), não foram encontradas maiores restrições, ocorrendo apenas o espelhamento de uma mesma solução.

A documentação do resultado da aplicação do *plug-in* para os projetos A e B pode ser encontrada no Apêndice D.

Figura 47 – Solução adotada para a disposição das paredes do projeto A, com o arranjo correto entre as linhas de referência para posterior aplicação do *plug-in*.



Fonte: Autor.

#### 7.3.4. Refinamento do *plug-in* para a geração de documentação e extração de quantitativos.

Após a conclusão da prova de conceito quanto à distribuição correta dos blocos cerâmicos por parte do *plug-in*, foi necessário verificar as condições para a geração de documentação 2D e extração de quantitativos.

A documentação 2D diz respeito aos desenhos técnicos característicos do projeto para produção, destacando-se as plantas de primeira e segunda fiada, além das elevações em corte para cada parede.

Os quantitativos incluem a lista dos blocos cerâmicos, com discriminação de cada tipo (1M, 2M e 3M) e suas quantidades. Outras informações como o preço unitário e o cálculo do preço geral também podem ser inclusos.

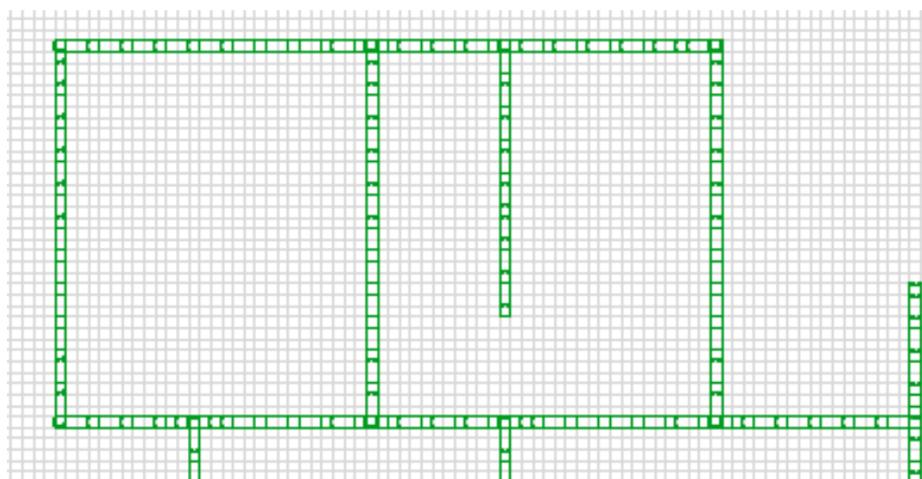
Para a extração dos desenhos 2D a partir do modelo BIM, previamente gerado pelo *plug-in*, foi necessário o estabelecimento de algumas estratégias em função do objeto GDL utilizado e das próprias ferramentas disponíveis pelo ArchiCAD para representação e documentação.

Primeiro, deve-se salientar que foi criado um novo objeto GDL para representar os blocos cerâmicos na versão do *plug-in*, diferente dos utilizados para a primeira revisão de

parâmetros, mostrada no item 7.2.2. A necessidade se deu devido à preferência por parte do programador de trabalhar com um único objeto paramétrico que representasse os três tipos diferentes de blocos cerâmicos, apenas com a alteração da característica “comprimento”. Tal opção é justificada pela praticidade de referenciar o *plug-in* a apenas um objeto e programá-lo para alterar o comprimento automaticamente, enquanto na fase GDL seria necessário realizar essa alteração manualmente. Assim, foi necessário alterar o tipo de representação 2D do objeto GDL, que não mais seria um desenho estático colocado a partir da janela “Símbolo 2D”, mas a projeção superior do próprio objeto paramétrico. A representação em planta da primeira e segunda fiadas passou a ser composta pela projeção superior de cada uma, separadamente.

Porém, da forma como o modelo é gerado pelo *plug-in*, tais projeções ficam sobrepostas em uma mesma planta, mesmo quando de fiadas diferentes, causando confusão na distinção de seus blocos (figura 48).

Figura 48 – Detalhe da representação em planta do modelo gerado inicialmente pelo *plug-in*, sendo possível observar a sobreposição entre os blocos de fiadas pares e ímpares.



Fonte: Autor.

Para solucionar esse problema, considerando que os desenhos 2D nada mais são que vistas de partes específicas do modelo BIM, propôs-se a separação das fiadas pares e ímpares em camadas (*layers*) diferentes. Assim, é possível para o próprio usuário definir a visualização separada de cada fiada e salvar a vista para sua posterior organização nas respectivas pranchas, organizando tais informações de acordo com sua necessidade.

No que diz respeito à extração de quantitativos, não houve necessidade de qualquer alteração do *plug-in*, sendo possível gerar automaticamente o quadro com os diferentes tipos de blocos cerâmicos, através da especificação do parâmetro “comprimento” nas ferramentas de listagem, disponibilizadas pelo próprio ArchiCAD. Como pôde ser verificado no estudo do objeto

GDL (item 7.2.2.), também são fornecidas possibilidades de inclusão de outras informações, como valores de custos e gastos de materiais para cálculos posteriores, a escolha do próprio usuário.

Assim, o *plug-in* foi concluído com o cumprimento da sua função de gerar as distribuições automáticas dos blocos cerâmicos, segundo os parâmetros pré-estabelecidos, além da possibilidade de extração dos desenhos 2D e geração de quantitativos. O resultado para os projetos A e B pode ser visto no Apêndice D.

Com a finalização da criação do *plug-in*, foi concluída a etapa de **desenvolvimento**, e deu-se início à etapa de **validação**, a ser apresentada no Capítulo 8, a seguir.

## 8. VALIDAÇÃO

A etapa de **validação** tem por objetivo verificar a aplicabilidade da construção proposta (*plug-in*), juntamente à metodologia desenvolvida para a tradução dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros BIM, permitindo a realização das reflexões práticas e teóricas necessárias acerca da investigação realizada.

Compreende, assim, os seguintes momentos:

- a) A aplicação da versão inicial do *plug-in* nos projetos A e B, junto aos seus respectivos projetistas, sendo possível a coleta de *feedback* sobre a importância, dúvidas e sugestões em relação à presente pesquisa;
- b) A aplicação da metodologia do estudo exploratório em um segundo sistema construtivo: *light steel framing*; conferindo a necessidade de ajustes e as possibilidades de generalização de uma metodologia única para sistemas construtivos diferentes.

### 8.1. Aplicação do *plug-in* nos projetos A e B, junto aos respectivos projetistas.

Com a conclusão do *plug-in* e aplicação prévia nos projetos A e B, foi possível dar início à demonstração junto aos seus respectivos projetistas para a obtenção de *feedback* externo. Esse momento foi de extrema importância no processo de reflexão sobre a aplicabilidade e importância da presente pesquisa, com a contribuição de profissionais da área que não tiveram envolvimento direto com o trabalho.

Para o projeto A, contou-se com a presença de uma arquiteta e um engenheiro civil, enquanto para o projeto B foram dois arquitetos; em ambos os casos projetistas responsáveis pelos projetos originais. As demonstrações foram feitas em separado para cada equipe e englobaram o seguinte conteúdo:

- a) Apresentação breve do que se trata a pesquisa, incluindo o problema de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos e os principais assuntos envolvidos, como os conceitos de BIM e Coordenação Modular;
- b) Resumo do processo de tradução realizado para a geração dos parâmetros que alimentaram o *plug-in*, incluindo a apresentação do *software* ArchiCAD, a família de blocos, o tipo de amarração escolhida, os tipos de encontros abordados e a tabela de configurações desenvolvida;
- c) Explicação dos motivos e adaptações realizadas, no caso do projeto B;
- d) Demonstração do uso do *plug-in*, com a geração da paginação de blocos para todas as paredes da planta baixa selecionada para cada projeto. Foi seguido o mesmo

procedimento realizado no item 7.3 para a verificação do correto funcionamento do *plug-in*;

- e) Abertura para discussão, com a solicitação de dúvidas, sugestões e opiniões sobre a importância do trabalho.

As duas sessões foram gravadas em arquivo de som para posterior análise do conteúdo e verificação das contribuições dos projetistas em relação aos aspectos solicitados. Tais aspectos serão colocados a seguir, com seus respectivos resultados.

### **8.1.1. Dúvidas dos projetistas em relação ao funcionamento e possibilidades de uso do *plug-in*.**

As dúvidas em relação ao funcionamento e às possibilidades de uso do *plug-in* dizem respeito às perguntas realizadas durante a demonstração.

Esse item inclui não apenas o entendimento por parte dos projetistas de como a ferramenta funciona, mas principalmente as expectativas guardadas sobre como ela pode lhes ser útil.

O quadro 7 traz a transcrição de alguns trechos significativos de perguntas feitas pelos projetistas de ambos os projetos. Como pode ser percebido, o funcionamento da ferramenta se mostrou claro, não havendo maiores perguntas sobre como utilizá-la. As principais dúvidas foram referentes ao que o *plug-in* seria capaz de fazer em função de como ele seria utilizado.

Quadro 7 – Transcrição de trechos sobre dúvidas em relação ao *plug-in*.

TRECHOS DA TRANSCRIÇÃO - DÚVIDAS	
PROJETO A	PROJETO B
"Você previu também o bloco em U para esse caso aí?"	"Ele gera quantitativo?"
"E (funciona) para paredes curvas?"	"E o vão de abertura?"

Fonte: Autor.

Destaca-se a preocupação com a geração de quantitativos, visto que é uma atividade comumente feita de forma manual, o que demanda tempo e possibilita acúmulo de erro humano. A possibilidade de se automatizar esse trabalho foi visto como uma contribuição extremamente positiva.

Os projetistas também ressaltaram aspectos não vislumbrados pela pesquisa como a previsão dos vãos para portas e janelas, além dos blocos cerâmicos especiais (U e J), utilizados nas interfaces com outros sistemas construtivos, como o cintamento que recebe as lajes e as vergas e contravergas das esquadrias.

No que diz respeito à utilização para paredes curvas, foi explicado se tratar de uma limitação do próprio sistema construtivo pré-estabelecido.

### 8.1.2. Sugestões para aperfeiçoamento do *plug-in* e trabalhos futuros.

As sugestões para o aperfeiçoamento do *plug-in* e para trabalhos futuros incluem o que os projetistas colocaram como aspectos importantes para melhorar o produto final e complementar a pesquisa realizada.

Como pode ser observado no quadro 8, os comentários trouxeram preocupações de como o *plug-in* pode ser útil como um produto a ser utilizado no mercado, além de serem reforçadas questões do item 8.1.1, antes colocadas como dúvidas sobre o que a ferramenta era capaz ou não de realizar.

Quadro 8 – Transcrição de trechos sobre sugestões em relação ao *plug-in* e a trabalhos futuros.

TRECHOS DA TRANSCRIÇÃO - SUGESTÕES	
PROJETO A	PROJETO B
"(...)Mas para ficar completo também as vistas e as perspectivas, (ainda é necessário) a evolução para que o sistema possa entender as aberturas, as vergas e contravergas porque, queira ou não queira, quando o sistema for disponibilizado isso vai ser requerido, né?"	"Uma pesquisa interessante de você fazer (...) é trabalhar a pesquisa com o bloco de 14(...) É exercício porque se ele funciona com o de 10, vai funcionar com o de 14."
"Eles (os blocos do MEHIS) não são os blocos comerciais hoje (...) talvez fosse o caso também de adaptar (...) nas medidas para blocos de 15."	"Tem que ver também o problema de como é que você joga a laje aí em cima..."
"Dependendo do tamanho do projeto, fazer de uma em uma (parede) vai ficar inviável."	"Tem o outro tijolo que a gente usa aí também que é a calha..."

Fonte: Autor.

Em resumo, as principais sugestões foram: estabelecer a previsão dos vãos de esquadria, incluir os blocos especiais para cintamento, vergas e contravergas, e a possibilidade de se adaptar o *plug-in* para os blocos de 14 cm (15 cm se contado a junta vertical), mais utilizados no mercado.

Houve crítica também em relação à necessidade de clicar em uma parede de cada vez para a geração de cada paginação, sendo dada a sugestão de se adicionar uma função que pudesse selecionar e gerar todas as paginações em um único clique.

Tais opiniões foram importantes para o direcionamento de trabalhos futuros e a confirmação do interesse por parte dos projetistas de se utilizar o *plug-in* como uma ferramenta complementar ao seu trabalho.

### 8.1.3. Opiniões sobre a importância da pesquisa.

Por fim, as opiniões sobre a importância da pesquisa apresentam o ponto de vista dos projetistas acerca de como o produto final (*plug-in*) pode ser útil para seu trabalho e se há potencial de implementação.

O quadro 9 mostra o interesse de se utilizar a ferramenta no cotidiano do projetista, visto sua capacidade de automatizar funções antes realizadas de forma manual, agilizando o processo.

Quadro 9 – Transcrição de trechos sobre a importância do trabalho.

TRECHOS DA TRANSCRIÇÃO - IMPORTÂNCIA	
PROJETO A	PROJETO B
"Tem um grande potencial isso daí (o <i>plug-in</i> ) de ser utilizado em um escritório..."	"Isso (o <i>plug-in</i> ) agiliza demais o processo também, eu digo se for pra fazer quantitativo, essas coisas..."
"(...) É algo (gerar as paginações) que as pessoas hoje fazem...têm o maior trabalho pra fazer...Você criou diversas possibilidades, o computador entende essas possibilidades e lança imediatamente...Muito bom mesmo!"	"Ele permite que você num menor espaço de tempo...você verifique essas possibilidades (soluções de problemas de arquitetura e estrutura)".

Fonte: Autor.

Destaca-se que atividades que não agregam valor e atualmente são feitas de forma manual, como a distribuição dos blocos cerâmicos em paginações e a extração dos quantitativos, se automatizadas, disponibilizam mais tempo para a avaliação de soluções para os problemas de arquitetura e estrutura, dentre outros, o que realmente diz respeito ao trabalho intelectual dos projetistas.

Assim, a possibilidade do estudo prévio de recorrências e sua transformação em parâmetros para a alimentação de um sistema computacional que passa a lançá-las de forma rápida e automática foi vista como uma contribuição extremamente positiva.

## 8.2. Revisão da metodologia pré-estabelecida.

Após a conclusão da construção (*plug-in*) à qual a pesquisa se propôs, houve a necessidade de se revisar a metodologia utilizada para sua generalização, visando a sua aplicação em outros sistemas construtivos.

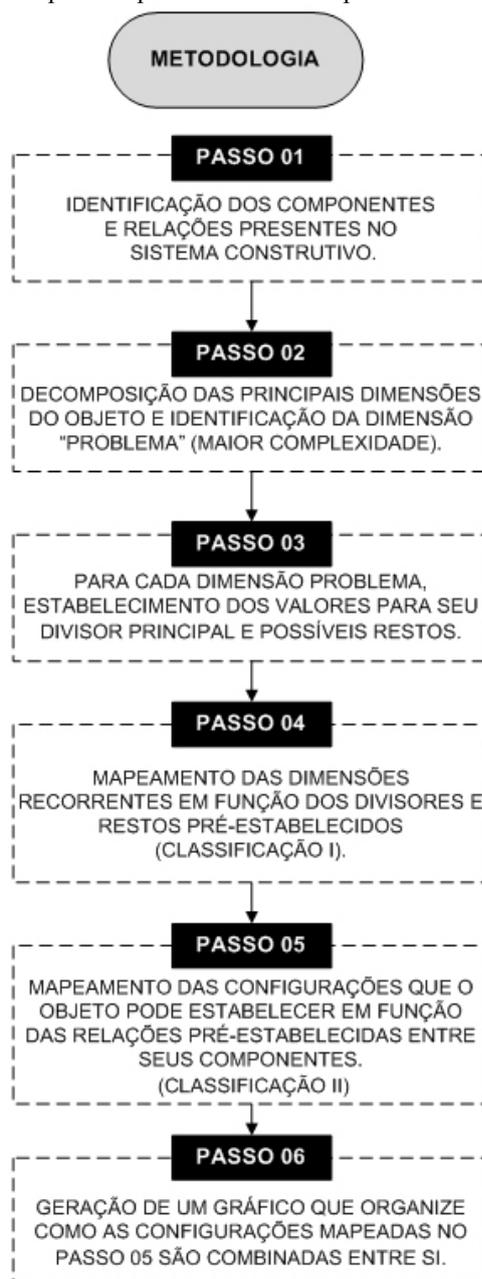
Com uma nova verificação das atividades realizadas ao longo das etapas de Desenvolvimento e Validação, foi possível estabelecer o passo-a-passo da metodologia proposta, apresentado a seguir:

- a) Identificar dos componentes básicos do sistema construtivo em questão. Ex. os blocos cerâmicos da família MEHIS (1M, 2M e 3M);
- b) Identificar as relações que o objeto é capaz de estabelecer entre semelhantes. Ex. os tipos de encontro entre alvenarias (L, T, X);
- c) Decompor as principais dimensões do objeto, em função dos componentes identificados. Nessa etapa é perceptível a importância da referência dimensional comum, característica da Coordenação Modular. Ex. altura, espessura e comprimento do objeto alvenaria;
- d) Identificar as dimensões “problema”, cuja complexidade de arranjo entre componentes é maior. Ex. Comprimento da alvenaria;
- e) Estabelecer para cada dimensão problema o “divisor” no qual ela será decomposta e os “restos” que deverão ser previstos. Esses valores devem sempre ser decimétricos. Ex. Para o comprimento da alvenaria, foi escolhido o valor de 30 cm como divisor, em função do bloco 3M, enquanto os valores para o resto foram de 20 cm e 10 cm, de acordo com os blocos complementares;
- f) Mapear as dimensões recorrentes em função do divisor e dos restos previstos, estabelecendo uma primeira classificação. Ex. Regra do R1, R2 e R3 para o comprimento da alvenaria;
- g) Mapear as configurações que o objeto estabelece em função das diferentes relações que ele pode realizar. Levantar recorrências e estabelecer uma segunda classificação. Ex. Alvenaria de encontro TT-R1, para uma parede que estabelece encontro T em ambas as extremidades e uma dimensão de valor R1;
- h) Estabelecer um gráfico de evolução que organize como todas as configurações classificadas anteriormente podem ser combinadas entre si.

Para facilitar a compreensão, a figura 49 apresenta uma versão esquematizada de tais passos. Em resumo, a metodologia estabelecida organiza um processo de decomposição e reconstrução de um determinado objeto, com consequente mapeamento das diferentes configurações que seus componentes básicos podem estabelecer, tanto para o objeto isolado, quanto para o objeto relacionado a outro semelhante.

Esse processo de decomposição e reconstrução, além do domínio do universo de configurações, tanto diferentes quanto recorrentes, é facilitado graças ao uso de uma referência dimensional comum, característica da Coordenação Modular.

Figura 49 – Resumo esquemático do passo-a-passo estabelecido para a metodologia de tradução revisada.



Fonte: Autor.

Como foi verificado no processo de criação do *plug-in*, objeto de investigação proposto pelo presente trabalho, tal metodologia gera informações suficientes para a criação de parâmetros e a estruturação de uma linguagem computacional que alimente um sistema BIM.

### 8.3. Aplicação da metodologia em um segundo sistema construtivo: *Light Steel Framing*.

Para a conclusão da etapa de validação, foi realizada a aplicação da metodologia revisada em um segundo sistema construtivo previamente selecionado: o *light steel framing*.

A escolha do LSF se deu em função de sua capacidade de racionalização e industrialização, tornando-o de fácil adequação aos princípios da coordenação modular. Sua

principal característica é a estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado, utilizados para a composição de painéis estruturais e não estruturais, dentre outros componentes da edificação (FREITAS; CRASTO, 2006). As características do sistema estão descritas em maiores detalhes no item 6.2.

A aplicação realizada contou com o passo a passo descrito no item 8.2 e será apresentada a seguir.

### **8.3.1. Identificação dos componentes básicos do sistema construtivo em questão.**

Como foi apresentado no item 6.2, o LSF é dividido basicamente em duas partes: os painéis estruturais, compostos de perfis de aço galvanizado, e o sistema de vedação, composto por placas industrializadas, cujos materiais mais comuns são placas cimentícias, placas OSB e placas de gesso acartonado.

Os painéis estruturais são decompostos, ainda, em dois tipos de perfis: os montantes (perfis U enrijecidos), elementos paralelos verticais, e as guias (perfis U), elementos que fixam as extremidades dos montantes (inferior e superior) conformando a estrutura básica do sistema.

A figura 50 apresenta um resumo da decomposição do sistema LSF.

Figura 50 – Decomposição do sistema LSF.



Fonte: Autor.

### **8.3.2. Identificação das relações que o objeto estabelece entre semelhantes.**

As relações estabelecidas no sistema LSF consistem nas configurações de encontros entre diferentes painéis, mantendo semelhanças com o que foi observado para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos.

As principais configurações no encontro de painéis são (FREITAS; CASTRO, 2006):

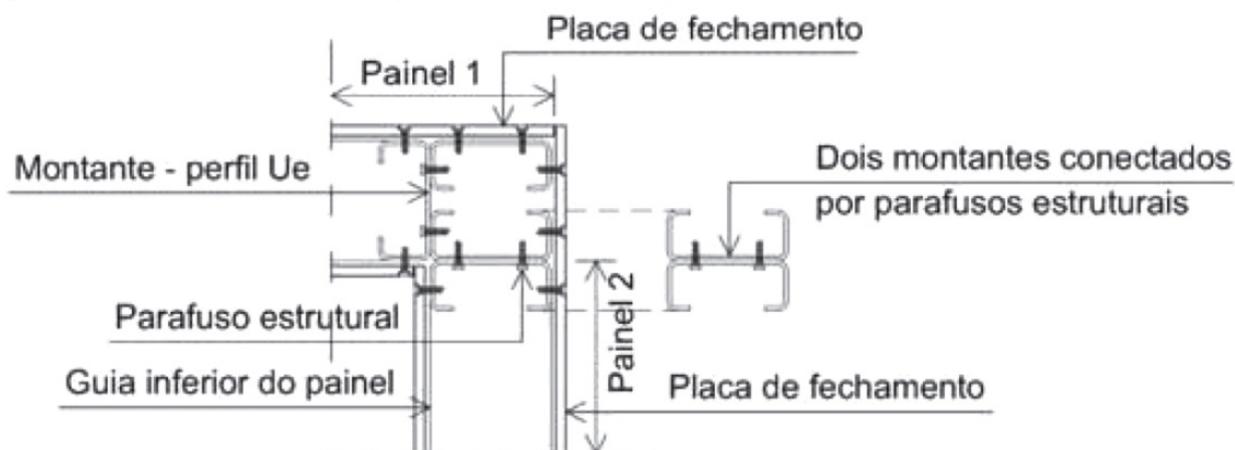
- a) Ligação de dois painéis com a união de dois montantes – é equivalente ao encontro em L da alvenaria racionalizada;
- b) Ligação de dois painéis, formando um T;

- c) Ligação de três painéis, gerando uma união cruzada – é equivalente ao encontro em X da alvenaria racionalizada.

Em resumo, foram verificadas as mesmas relações antes estabelecidas para a alvenaria racionalizada (encontro em L, em T e em X), o que é previsível em função do atendimento de um mesmo tipo de configuração de planta e disposição de paredes.

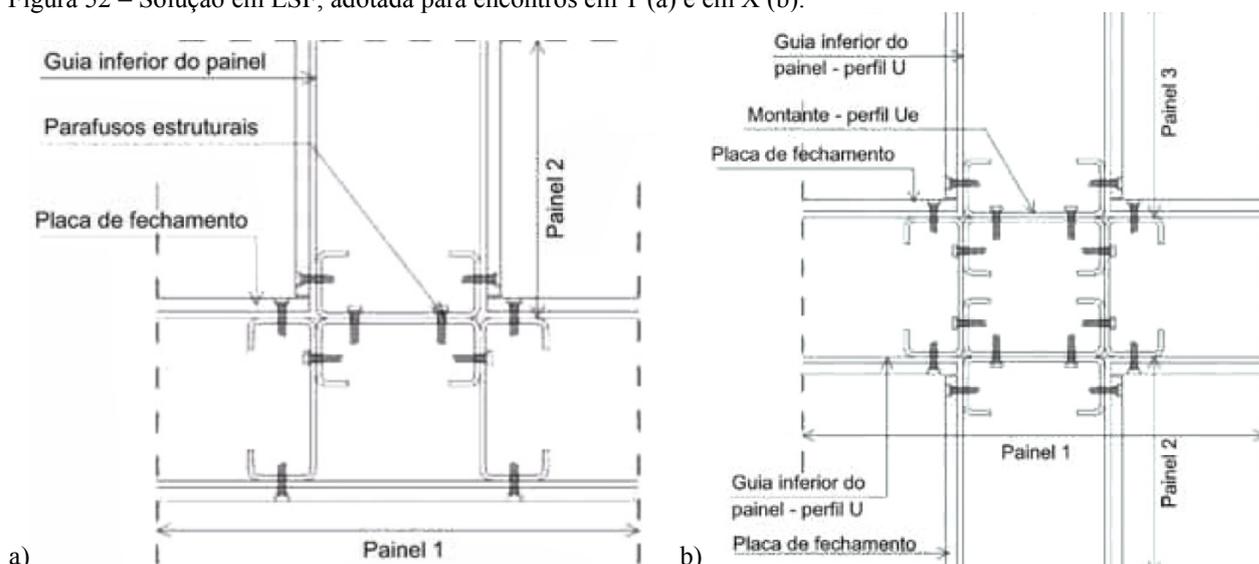
A diferenciação se dá pela forma como o sistema construtivo soluciona esses tipos de encontro em função da combinação de seus componentes. No caso do LSF, esses encontros são solucionados através de diferentes combinações de seus montantes, visando sempre à rigidez do sistema, à resistência aos esforços e ao provimento de uma superfície para a fixação das placas de fechamento interno ou externo.

Figura 51 – Solução em LSF, adotada para encontros em L.



Fonte: FREITAS e CASTRO, 2006.

Figura 52 – Solução em LSF, adotada para encontros em T (a) e em X (b).



Fonte: FREITAS e CASTRO, 2006.

As soluções adotadas são apresentadas nas figuras apresentadas para os encontros L (Figura 51), encontro T (Figura 52-a) e encontro X (Figura 52-b), consecutivamente.

### **8.3.3. Decomposição das principais dimensões em função dos componentes identificados.**

Como foi verificado anteriormente para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, as principais dimensões de um objeto parede são: espessura, altura e comprimento.

Nessa etapa, espessura, altura e comprimento serão desmembrados em função dos componentes do sistema construtivo LSF.

A **espessura** é determinada pela dimensão da alma do montante, perfil U enrijecido utilizado como elemento vertical dos painéis estruturais, somada à dimensão da espessura das placas de vedação interna e externa. Vale salientar que, em casos específicos, podem ser adicionados ainda elementos de isolamento acústico ou térmicos, porém, não é intenção do presente trabalho atingir esse nível de detalhamento. Assim, adotando-se o mesmo tipo de perfil Ue e placas de vedação interna e externa para toda a obra, essa dimensão se torna constante, representada pela equação 01 (quadro 10).

Quadro 10 – Equação 01, onde é possível estabelecer a decomposição da espessura da parede.

**$E_p = AU_e + E_{vi} + E_{ve}$** , onde:

$E_p$  = espessura da parede;

$AU_e$  = alma do perfil  $U_e$ ;

$E_{vi}$  = Espessura da placa de vedação externa;

$E_{ve}$  = Espessura da placa de vedação interna.

Fonte: Autor.

A **altura** da parede é determinada pelo comprimento do montante, sendo constante. Deve-se atentar, porém, para a inclusão de elementos de travamento horizontal, responsável por aumentar a resistência dos painéis estruturais. Uma opção muito utilizada é o uso de fitas metálicas em aço galvanizado, instaladas na horizontal ao longo do painel, aparafusadas aos montantes a meia altura, para painéis de até 2,50m ou a cada 1,00m para painéis entre 2,75m e 3,00m (FREITAS e CASTRO, 2006). Assim, a altura também se caracteriza como uma dimensão constante, sendo representada pela Equação 02 (quadro 11).

Quadro 11 – Equação 02, onde é possível estabelecer a decomposição da altura da parede.

**$A_p = C_oU_e$** , onde:

$A_p$  = altura da parede

$C_oU_e$  = comprimento do perfil  $U_e$ .

Fonte: Autor.

Por fim, o **comprimento** da parede é determinado pela modulação estabelecida para o distanciamento entre os montantes, cujas dimensões padrões são de 400 mm ou 600 mm, definidas de acordo com cálculo estrutural e associadas às dimensões de fabricação das placas de vedação. Resume-se essa relação através da equação 03 (quadro 12).

Quadro 12– Equação 03, onde é possível estabelecer a decomposição do comprimento da parede.

**$C_p = (N \times M)$** , onde:

$C_p$  = comprimento da parede;

$N$  = número inteiro qualquer;

$M$  = modulação entre montantes podendo ser de 400 mm (40 cm) ou 600 mm (60 cm)

Fonte: Autor.

Após a decomposição das principais dimensões da parede em função dos componentes do sistema construtivo em questão, é possível a identificação de que dimensões exigem uma maior atenção em função de sua complexidade e variação, dando continuidade, assim, para o próximo passo da análise.

#### **8.3.4. Identificação da dimensão “problema” e estabelecimento de seus divisores e restos.**

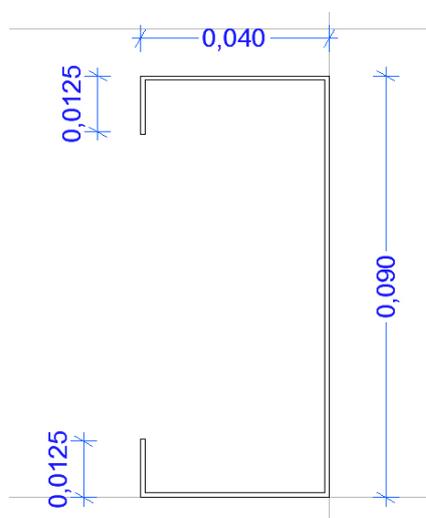
Através da etapa anterior, verificou-se que a dimensão de maior complexidade e variação é o comprimento da parede, sendo a altura e espessura constantes, em função de características fixas dos componentes (perfis e placas).

Como foi verificado, o comprimento da parede depende diretamente da modulação estabelecida para o distanciamento entre montantes, que, dependendo das especificações dos perfis, poderá ser de 400 mm ou 600 mm. Assim, para dar início ao estudo dos parâmetros do comprimento da parede em LSF, deverá primeiramente ser selecionado um fabricante para determinação das especificações dos componentes que serão considerados na pesquisa. Esse momento se assemelha à escolha da família de blocos cerâmicos realizada para a alvenaria racionalizada.

O fabricante foi selecionado de acordo com os seguintes critérios: fornecimento em território nacional e fácil acesso às especificações dos produtos. Atentou-se também para a possibilidade de um fabricante que disponibilizasse tanto os perfis utilizados nos painéis estruturais quanto alguma opção de placas de vedação.

As dimensões da seção do perfil Ue utilizado como montante para a presente pesquisa são apresentadas na figura 53, representada em metros.

Figura 53 – Seção do perfil Ue selecionado para a presente pesquisa, com suas principais dimensões representadas em metro.



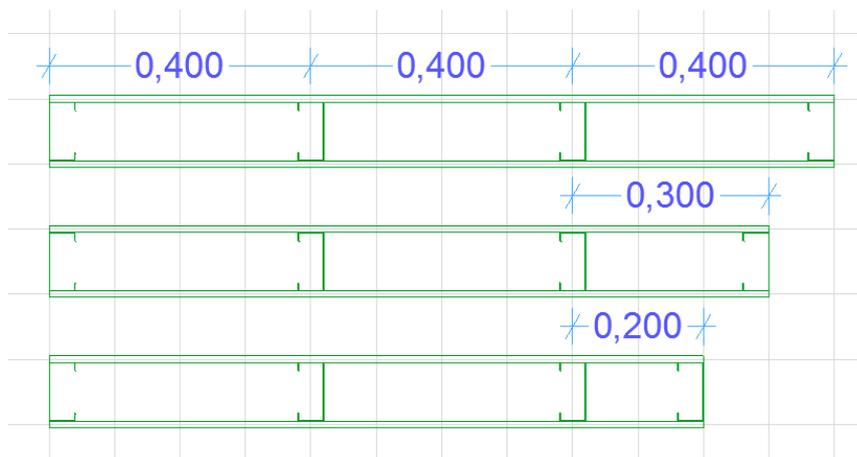
Fonte: Autor.

O espaçamento máximo determinado pelo fabricante foi de 400 mm, ou 40 cm, com referência de eixo para os perfis internos, e da superfície externa da alma, para perfis localizados nas extremidades.

Assim, foi definido o módulo de 40 cm como divisor do comprimento, resultando, como possibilidades de resto, os módulos complementares de 30 cm, 20 cm e 10 cm. Optou-se por não adotar intervalos de 10 cm, visto que resultariam em espaçamentos ínfimos se considerado a dimensão da mesa dos perfis. A figura 54 apresenta, então, o estudo da modulação para o comprimento de uma parede isolada em LSF.

É importante salientar, ainda, que se optou como vedação, interna e externa, placas cimentícias de 10 mm de espessura, disponibilizadas pelo mesmo fabricante dos perfis. Apesar de fornecidas em uma largura padrão de 1,20 m, devido à modulação de 40 cm, será considerada a possibilidade de cortes para as dimensões complementares de 30 cm e 20 cm, comum em aplicações práticas, e que não inviabiliza o caráter de racionalização e industrialização do sistema.

Figura 54 – Estudo da modulação dos perfis para uma parede isolada em LSF, apresentada em metros.



Fonte: Autor.

Assim, considerando a possibilidade de se adotarem medidas complementares de 30 cm e 20 cm, a equação do comprimento da parede é reescrita da seguinte forma:

Quadro 13 – Equação 03-b, onde é possível estabelecer a decomposição do comprimento da parede, com a inclusão das medidas complementares.

**$C_p = (N \times M) + R$** , onde:

$C_p$  = comprimento da parede;

$N$  = número inteiro qualquer;

$M$  = modulação entre montantes, utilizada como divisor principal. Para o caso selecionado, 40 cm;

$R$  = resto da divisão, podendo ser: ZERO; 30 cm ou 20 cm.

Fonte: Autor.

Após o estudo da parede isolada e suas dimensões, será realizado o mapeamento das configurações possíveis, em função dos diferentes encontros (L, T e X), a ser apresentado no passo a seguir.

### **8.3.5. Mapeamento das dimensões recorrentes e das configurações possíveis.**

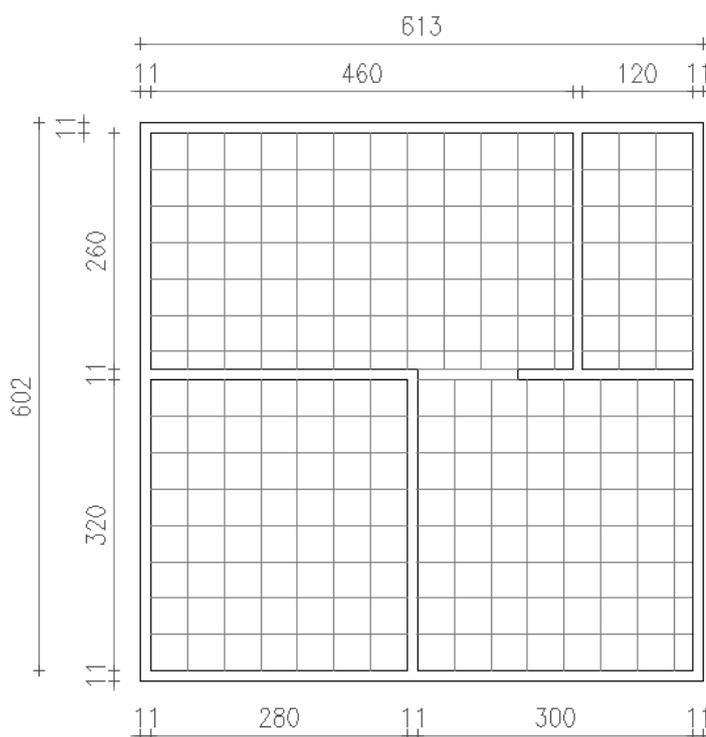
Durante o mapeamento das dimensões recorrentes e configurações possíveis, foi encontrada uma característica importante do tipo de modulação adotado para o sistema LSF. Quando justapostos, os elementos que compõem a espessura da parede não resultam em uma dimensão divisível por 10 cm, ou seja, não há adequação ao sistema decimétrico, característico da Coordenação Modular.

Assim, deve se atentar para que a modulação dos perfis seja restrita aos vãos internos das paredes, não sendo contabilizada a espessura das mesmas. Para compreender melhor com isso

ocorre, foi aplicada a malha de modulação do LSF ao projeto A, antes utilizado para a alvenaria em blocos cerâmicos, realizando-se as adaptações dimensionais necessárias (Figura 55). Tais adaptações consistiram basicamente no aumento da espessura da parede para 11 cm.

É possível perceber que, apesar das dimensões gerais do projeto não estarem mais de acordo com o sistema decimétrico, os vãos internos entre paredes estão corretamente distribuídos em módulos de 40 cm, com complementos de 30 cm ou 20 cm.

Figura 55 – Aplicação da modulação do sistema LSF no projeto A, apresentada em centímetros.



Fonte: Autor.

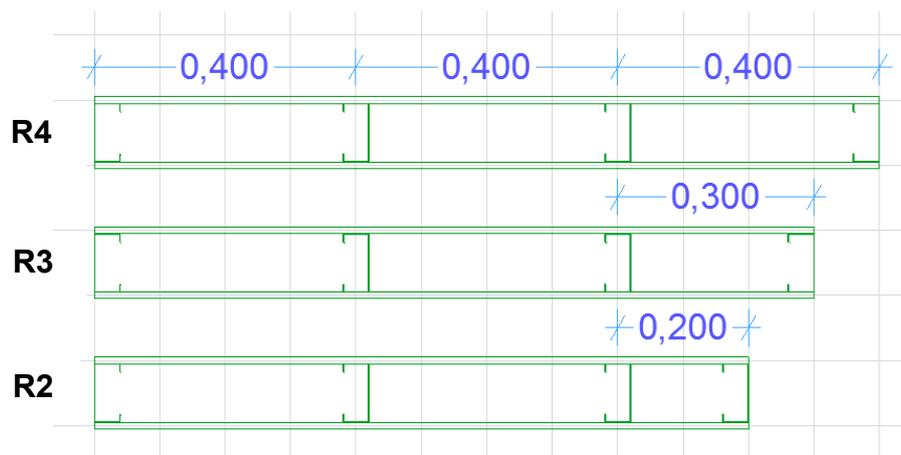
Percebeu-se dessa forma que, diferente da alvenaria em blocos cerâmicos, a modulação do LSF independe dos elementos inclusos na espessura da parede e, conseqüentemente, do tipo de encontro realizado em suas extremidades.

Assim, foram discriminados dois aspectos independentes a serem considerados para a distribuição dos perfis: 1. a dimensão modulada entre vãos; 2. o tipo de encontro entre paredes.

Para a dimensão modulada entre vãos, gerou-se uma classificação em função da equação de comprimento, previamente estabelecida, semelhante à adotada para as alvenarias em blocos cerâmicos: R2 para resto de 20 cm, R3 para resto de 30 cm e R4 para resto ZERO, ou seja, comprimentos divisíveis por 40 cm.

Assim, essas são as configurações mapeadas para os diferentes tipos de vão, independente de que encontros sejam apresentados em suas extremidades (Figura 56).

Figura 56– Classificação das configurações para os diferentes tipos de vão.

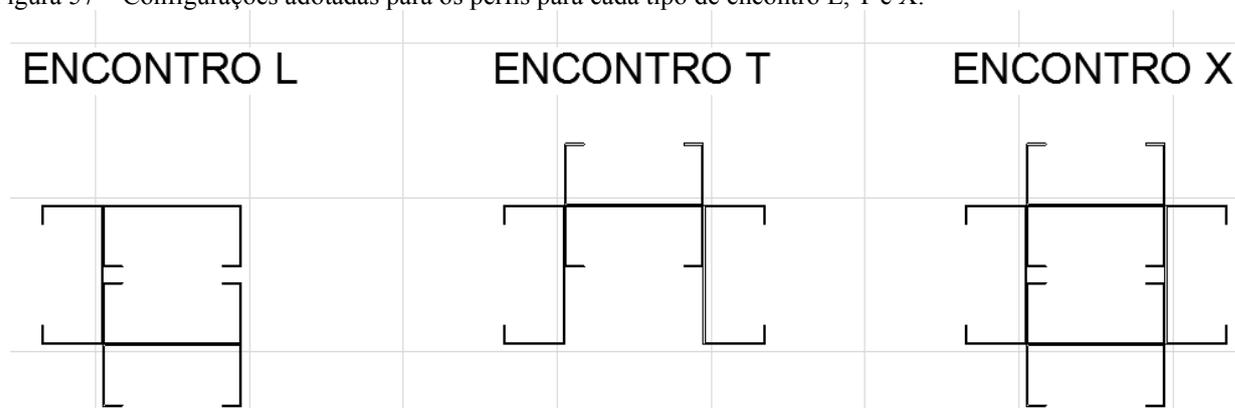


Fonte: Autor.

Para o aspecto “tipos de encontro entre paredes”, foram adotadas as configurações retiradas do levantamento bibliográfico e apresentadas no item 8.3.2.

Para uma melhor visualização da disposição dos perfis, foram colocados na Figura 57 os três tipos de configuração levantados para os encontros L, T e X, respectivamente.

Figura 57 – Configurações adotadas para os perfis para cada tipo de encontro L, T e X.



Fonte: Autor.

Assim, percebe-se que, diferente da alvenaria em blocos cerâmicos, a variação de configurações para os componentes básicos do LSF é mínima, facilitando o reconhecimento de recorrências e a geração de parâmetros para a programação de sistemas BIM. Devido ao número reduzido de configurações, não houve a necessidade da criação de uma tabela.

Porém, apesar do reconhecimento de dois aspectos inicialmente independentes (configuração de vãos e configuração de encontros), foi necessário verificar, ainda, como eles se justapõem dentro de uma mesma estrutura, o que leva à investigação do passo posterior.

### 8.3.6. Estabelecimento de um gráfico de evolução, contendo as configurações mapeadas.

Após serem definidos os dois aspectos principais para as configurações dos perfis no sistema LSF, inicialmente independentes (vãos e encontros) chegou-se à necessidade de se estabelecer como eles se justapõem em uma mesma estrutura, ou seja, uma mesma configuração em planta.

O que se percebeu foi que, dentro das configurações de perfis adotadas em cada tipo de encontro (Figura 57), já estavam inclusos os perfis das extremidades do vão por ele delimitado. Assim, é possível estabelecer uma sobreposição entre as configurações dos vão e dos encontros através de um perfil em comum. Essa sobreposição, porém, não gera qualquer alteração nas configurações adotadas para o item 8.3.5, como é possível observar nas figuras a seguir para cada tipo de encontro: L (figura 58), T (figura 59) e X (figura 60).

Os perfis que podem ser comuns a ambas as configurações (dos vão e dos encontros) foram destacados em cor laranja, facilitando a visualização da sobreposição.

Figura 58 – Sobreposição entre a configuração dos perfis de vão e a configuração do encontro em L.



Fonte: Autor.

Figura 59 – Sobreposição entre a configuração dos perfis de vão e a configuração do encontro em T.



Fonte: Autor.

Figura 60 – Sobreposição entre a configuração dos perfis de vão e a configuração do encontro em X.



Fonte: Autor.

Novamente, foi percebido que, em virtude do número reduzido de configurações diferentes, ou seja, de variáveis, não houve a necessidade de se estabelecer um gráfico de evoluções, como o caso da alvenaria em blocos cerâmicos.

Os parâmetros retirados para a descrição do sistema LSF consistem, assim, em três configurações básicas de vão (R2, R3 e R4) que podem ser associados às três configurações básicas de encontros (L, T e X). Tal associação se trata de simples sobreposições, sem necessidade de alterações na disposição dos componentes, previamente estabelecida para as configurações em separado.

Assim, conclui-se a etapa de validação da presente pesquisa com a verificação de que a metodologia estabelecida inicialmente para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos tem potencial de aplicação para outros sistemas construtivos.

Ao longo da investigação percebeu-se que só foi possível a generalização de uma metodologia graças ao cumprimento dos princípios da Coordenação Modular, o que permitiu o uso de um referencial dimensional comum e o domínio de variáveis, com a descoberta de recorrências e conseqüente generalização de métodos e parâmetros. A geração de tais parâmetros, visando à alimentação de aplicativos BIM, possibilita a inclusão de novas funções como a automatização das paginações em alvenaria racionalizada, realizada no presente trabalho.

Dessa forma, pressupõe-se que o *plug-in* criado ao longo da investigação do Capítulo 7 também poderia ser ampliado para outros sistemas construtivos através da programação de novos parâmetros, a exemplo dos aqui extraídos para o LSF.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual cenário da construção civil vem trazendo mudanças que exigem melhorias nos processos desenvolvidos pelo setor, no sentido de atender às novas demandas por habitações e superar características tradicionais de ineficiência com relação à produtividade e confiabilidade dos produtos.

Percebe-se que o fluxo e a integração das informações envolvidas ao longo de toda a cadeia produtiva do empreendimento, a começar pela fase de projeto, são um gargalo considerável no processo de proposta e implementação dessas melhorias. Dessa forma, Coordenação Modular e BIM surgem como opções interessantes, visto que ambos atuam de forma positiva na integração e otimização de dados, enquanto permitem uma flexibilidade de combinação de medidas e elementos, facilitando a geração de novas soluções e adaptações.

Pressupõe-se que tal potencial estratégico possa ser incrementado através de uma associação entre ambos. Dessa forma, foi proposta a investigação de uma metodologia voltada para a tradução dos princípios da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis a um sistema BIM, através do desenvolvimento de um artefato, ou construção, tendo como referência os fundamentos da pesquisa construtiva (*construction research*).

Como construção, foi escolhida a customização de um aplicativo BIM de modelagem, previamente selecionado, visando à geração automática de soluções moduladas para um sistema construtivo de vedação: a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos.

A estratégia de programação adotada foi baseada em pesquisas anteriores, porém, com uma nova proposta de associação de duas formas de acesso e comunicação de dados: *script*, para a programação dos objetos paramétricos e geração de uma biblioteca customizada, e *plug-in*, para o estabelecimento das relações entre os objetos paramétricos e o aplicativo BIM original.

Os resultados da presente pesquisa podem ser divididos assim em três aspectos fundamentais.

O primeiro diz respeito à criação de uma versão inicial de um *plug-in*, com a função de gerar automaticamente a paginações de blocos cerâmicos para a alvenaria racionalizada, com possibilidades de extração dos desenhos técnicos 2D e quantitativos. Segundo a opinião dos projetistas responsáveis pelos dois projetos em HIS, utilizados na presente pesquisa, o uso dessa ferramenta poderia trazer benefícios técnicos ao automatizar atividades que não agregam valor e demandam mais tempo que esforço intelectual por parte dos profissionais. A geração automática de diferentes soluções também possibilita uma avaliação mais rápida e eficiente, salientando-se que a ferramenta BIM por si já facilita o processo de visualização se comparada ao desenho CAD

2D. Assim, a possibilidade do estudo prévio de recorrências e sua transformação em parâmetros para a alimentação de uma ferramenta que passa a lançá-las de forma rápida e automática foi vista como uma contribuição prática extremamente positiva.

O segundo aspecto diz respeito à proposição de uma metodologia que permita a tradução de princípios da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis ao BIM, investigada ao longo do processo de criação do *plug-in* e validada ao ser aplicada em um segundo sistema construtivo: *light steel framing*. O que se percebeu foi que, apesar de não ter sido realizada uma tradução direta dos princípios teóricos da Coordenação Modular (item 4.2.), foi estabelecida uma metodologia para o reconhecimento de regras de construção para objetos modulados, no caso, sistemas construtivos de vedação. Dessa forma, foi possível compreender a lógica de sistematização desses objetos e levantar recorrências para sua posterior tradução em parâmetros aplicáveis ao sistema BIM. Os princípios da Coordenação Modular não são, assim, traduzidos diretamente, mas utilizados como parte fundamental no processo de tradução, atuando como um referencial dimensional único, que permite o domínio de variáveis, a descoberta de recorrências e, conseqüente, a generalização de parâmetros. Devido à utilização da abordagem sistêmica ao longo do processo e o reconhecimento do objeto a partir de seus componentes, relações e estruturas, pressupõe-se a possibilidade de utilização da metodologia aqui proposta para outros objetos, não apenas os sistemas construtivos de vedação apresentados, desde que sigam os princípios de modulação estabelecidos pela Coordenação Modular.

O terceiro e último aspecto consistiu na investigação de como BIM e Coordenação Modular podem atuar em conjunto de forma a trazer benefícios técnicos para a indústria da AEC. Através dos resultados verificados tanto com a customização do aplicativo, quanto com o desenvolvimento da metodologia de tradução, percebeu-se que ambas as estratégias, quando utilizadas em conjunto, potencializam aspectos já positivos de cada uma separadamente.

Como já mencionado, a Coordenação Modular, por se tratar do uso de uma referência dimensional única, facilita a compreensão dos objetos como sistema, sua decomposição e o levantamento de recorrências, além da possibilidade de rearranjos entre uma determinada quantidade de componentes específicos para a criação de novas combinações, ou seja, novos objetos. Essas características facilitam o processo de criação de parâmetros para a alimentação do sistema BIM, possibilitando a geração de novas funções. Ressalta-se, ainda, a melhoria na comunicação entre profissionais de especialidades diferentes, através da otimização de informações, em função desse referencial dimensional comum. Tal aspecto deve ser destacado no desenvolvimento da presente pesquisa, que contou com uma equipe interdisciplinar, além de ser extremamente necessário para a implementação do BIM em sua maior potencialidade.

Por outro lado, o BIM disponibiliza ferramentas associadas ao conceito de desenho paramétrico e interoperabilidade que permitem um ambiente virtual integrado, onde os conceitos da Coordenação Modular podem ser aplicados e compreendidos, através de uma visualização mais clara e uma automatização de funções. Considerando que os principais gargalos para a consolidação da Coordenação Modular no Brasil incluem a falta de conhecimento sobre sua definição, o não reconhecimento apurado de seus benefícios e a falta de integração entre os diferentes agentes da cadeia produtiva, inclusive os fornecedores, as ferramentas de otimização de informação e os princípios colaborativos impulsionados pelo BIM lhe são extremamente benéficos.

Tais resultados demonstram que os objetivos inicialmente estabelecidos foram alcançados com a customização de um aplicativo BIM de modelagem, a partir dos princípios da Coordenação Modular, devidamente aplicado em dois projetos de HIS junto a projetistas externos à pesquisa. O desenvolvimento da metodologia pretendida também foi realizado e validado com a aplicação em um segundo sistema construtivo de vedação, o *light steel framing*.

As contribuições acadêmicas incluem, assim, o registro do processo de customização do aplicativo BIM, referência para trabalhos futuros de intuito semelhante; o desenvolvimento de uma metodologia para a tradução de objetos modulados em parâmetros, visando à alimentação de modelos BIM; e, por fim, a reflexão teórica sobre os benefícios trazidos pela associação entre BIM e Coordenação Modular, embasadas pela investigação desenvolvida ao longo de todo o trabalho.

Para trabalhos futuros, são colocadas como possibilidades:

- a) O aprimoramento do *plug-in* aqui desenvolvido, com a inclusão do cálculo de vãos de esquadria e das interfaces com outros sistemas construtivos, além da possibilidade de adaptá-lo para outras famílias de blocos cerâmicos, de dimensões mais utilizadas no mercado;
- b) A aplicação da metodologia de tradução em outros sistemas construtivos de vedação, com a geração de novos parâmetros para a alimentação de aplicativos BIM de modelagem, como a proposta no presente trabalho;
- c) A extensão da metodologia de tradução para outros sistemas construtivos ou objetos de estudos, podendo-se vislumbrar a programação de outros tipos de funções para aplicativos BIM, não previstas na presente pesquisa. Considerando-se a amplitude da abordagem sistêmica, pressupõe-se a possibilidade de utilização da metodologia aqui proposta para objetos em diferentes níveis de escala do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDOR, M. R. A. **Colocando o "i" no BIM**. Usjt – arq.urb – Número 4, 2010.
- AL ARAYEDH, S. G. **The mass housing dilemma an industrial design process in architecture**. Thesis submitted to the Faculty of Mississippi State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Architecture in the School of Architecture, Art, and Design. Mississippi, 2006.
- ALVES, T. C. L. **Workshop Introdução ao Pensamento Enxuto**. In: IV Seminário Internacional sobre Construção Enxuta. Fortaleza, 2010.
- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **Integrated Project Delivery: A Guide**. 1st ed, 2007. Disponível em: < [http:// www.msaidp.com/IPD\\_Guide\\_2007.pdf](http://www.msaidp.com/IPD_Guide_2007.pdf) >. Acessado em outubro de 2011.
- ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. **BIM: Conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências**. In: SBQP 2009: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009a.
- \_\_\_\_\_. **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC**. In: Gestão & Tecnologia de Projetos Vol. 4, nº 2, Novembro 2009b. ISSN 19811543.
- ARQUITETURA E URBANISMO. **Especial Arquitetura Digital: Escultórico-temporário**. São Paulo: PINI. Ed. 181. Abril, 2009.
- \_\_\_\_\_. **Informações Coordenadas?** São Paulo: PINI. Ed. 208. Julho, 2011a.
- \_\_\_\_\_. **Tecnologia & Materiais: Conheça as características do steel frame, sistema que garante obra rápida com mínima geração de resíduos**. São Paulo: PINI. Ed. 210. Setembro, 2011b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual Técnico de Alvenaria**. Projeto/PW editores, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15873: Coordenação Modular para edificações**. Rio de Janeiro, 2010a.
- \_\_\_\_\_. **NBR ISO 12006-2: Construção de edificação – Organização de informação da construção. Parte2: Estrutura para classificação de informação**. Rio de Janeiro, 2010b.
- \_\_\_\_\_. **NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos**. Rio de Janeiro, 2000.
- \_\_\_\_\_. **NBR ISO 8402: Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL. **Manual de Fixação, Manutenção e Acabamento**. 2007. Disponível em: < [www.drywall.org.br](http://www.drywall.org.br) >. Acessado em novembro de 2011.

AYRES, C.; AZUMA, F.; SCHEER, S. **Utilização do CAD-BIM para Projeto de Alvenaria de Blocos de Concreto**. In: Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 8., 2008, São Paulo. Anais...São Paulo: EP-USP, 2008. p.1-10.

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

AZUMA, Fabíola. **Uma contribuição através de um sistema CAD baseado na WEB para a aplicação da Coordenação Modular nas habitações de interesse social**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à implementação da coordenação modular da construção no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

BNH – BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO; INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E GERENCIAL. **Coordenação modular da construção**: edição da Secretaria de divulgação. BNH/IDEG: Rio de Janeiro. 1978.

BARBOUR, R. **Grupos focais**. Porto Alegre: Artmed, 2009. ISBN: 978-85-363-2054.

BARROS, M. M. B. **O processo de produção das alvenarias racionalizadas**. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais. Anais. São Paulo, EPUSP/PCC, 1998.

BARROS NETO, J. P. **Proposta de um modelo de formulação de estratégias de produção para pequenas empresas de construção habitacional**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

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

BIM PRODUCTS LTD. **BIM Revolution**: ICT waves in the AEC industry. Centre for Process Innovation in building & construction (CPI), 2008. ISBN/EAN: 978-90-812963-1-1. Disponível em: <[http://www.bimproducts.net/download/BIM-1-36\\_19-06.pdf](http://www.bimproducts.net/download/BIM-1-36_19-06.pdf)>. Acessado em julho de 2010.

BONATTO, F. S. **Proposta de um modelo de avaliação de empreendimentos habitacionais de interesse social a partir da percepção de clientes finais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

BORGES, M. A. G. **A compreensão da sociedade da informação**. In: Ciência da Informação, v. 29, 2000.

BUILDING SMART INTERNATIONAL (BSI). **Building Smart International home of openBIM** (página da internet). 2011a. Disponível em: <<http://www.buildingsmart.com/>>. Acessado em novembro de 2011.

\_\_\_\_\_. **Industry Foundation Classes Release 2x4 (IFC4) Release Candidate 3**. 2011b. Disponível em: <<http://buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x4/rc3/html/index.htm>>. Acessado em novembro de 2011.

CAMPOS, P. F. E. **Novos paradigmas do ciclo aberto**: componentes com valor agregado. Disponível em: <<http://www.abcic.org.br/artigo3.asp>>. Acesso em: dezembro de 2011.

CARDOSO, D.R. **Desenho de uma poiesis**. Expressão Gráfica e Editora. Fortaleza, 2011. ISBN: 978.85.7563.601.5.

CELANI, G. *et al.* **A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura**. Conexão (Caxias do Sul), v. 5, p. 15-20, 2007.

CHECCUCCI, E. S.; PEREIRA, A. P. C.; AMORIM, A. L. **A difusão das tecnologias BIM por pesquisadores do Brasil**. In: V TIC - Salvador, Bahia, Brasil, 4 e 5 de agosto de 2011.

COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. **Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil**. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 8., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EP-USP, 2008. pp.1-10

COMBES, L.; BELLOMIO, A. **Creativity and Modularity in Architecture**. In: AVOCAAD Second International Conference [AVOCAAD Conference Proceedings / ISBN 90-76101-02-07] Brussels (Belgium). April, 1999. pp. 169-179.

CONSTRUÇÃO MERCADO. **Especial BIM**: Gestão remodelada. São Paulo: PINI. Ed. 115. Fevereiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **Reportagem: Design & build**. São Paulo: PINI. Ed. 112. Novembro, 2010.

CONTIER, L. A.; KOURY, A. P. **Projeto: novas e velhas realidades**. In: VIII Workshop Brasileiro: Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. São Paulo, 2008.

CUMULATIVE INDEX OF COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN – CUMINCAD (página da internet). 2011. Disponível em: <<http://cumincad.scix.net>>. Acessado em dezembro de 2011.

DUARTE, J. P. **Personalizar a Habitação em Série**: Uma Gramática Discursiva para as Casas da Malagueira do Siza. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R; LISTON, K. **BIM Handbook**: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, 2008.

EGAN J. **Rethinking Construction**, Construction Task Force, Report of the Construction Task Force on the Scope for improving quality and efficiency in UK Construction, 1998.

EQUIPE DE OBRA. **Plantas**: Steel frame. São Paulo: PINI. Ed. 41. Novembro, 2011a.

\_\_\_\_\_. **Como escolher**: blocos cerâmicos. São Paulo: PINI. Ed. 37. Julho, 2011b.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1992.

FREITAS, A. M. S; CASTRO, R. C. M. **Steel Framing:** Arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. ISBN: 85-89819-09-4.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª edição. Editora Atlas. 2002.

GODOY, A. S. **Refletindo sobre critérios de qualidade da pesquisa qualitativa.** IN: Revista Eletrônica de Gestão Organizacional. V. 3, n.2, p. 85-94, maio, 2005.

GOMES FILHO, J. **Design do objeto** – bases conceituais. São Paulo: Escrituras, 2006. ISBN: 85-7531-221-9

GRANDISKI, P. **Olhar de perito.** In: Revista Técnica, pp. 24-26. São Paulo: PINI. Junho, 2004.

GRAPHISOFT. **Graphisoft API Development Kit Documentation.** 2011. Disponível em: <<http://www.graphisoft.com/support/developer/documentation/DocAPIDevKit.html>>. Acessado em abril de 2011.

\_\_\_\_\_. **GDL Reference Guide.** 2010.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção do Brasil:** uma abordagem atualizada. Coleção Habitare. Porto Alegre, 2007.

GUIA DA CONSTRUÇÃO. **BIM e coordenação modular serão normatizados.** São Paulo: PINI. Ed. 97. Agosto, 2009.

HISCE – Um modelo de habitação social para o estado do Ceará. **Peculiaridades do Ceará.** (Relatório Técnico). Rede Habitare/Finep. Fortaleza, 2006.

HUANG, J.; KRAWCZYK, R.; SCHIPPOREIT, G. **Integrating Mass Customization with Prefab Housing.** In: Second International Conference of Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD), pp. 124-136, Proceeding. Sharjah, 2006.

ITO, A. L. Y. **Gestão da informação no processo de projeto de arquitetura:** estudo de caso. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

JARDIM, G. T. C.; CAMPOS, A. S. **Light Steel Framing** - uma aposta do setor siderúrgico no desenvolvimento tecnológico da construção civil. In: Instituto UNIEMP. (Org.). Inovação em Construção Civil. São Paulo: UNIEMP, 2005. Disponível em <<http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/apresent/SteelFramingCBCA.pdf>>. Acessado em novembro de 2011.

KASANEN, E., LUKKA, K. & SIITONEN, A. **The Constructive Approach in Management Accounting Research.** IN: Journal of Management Accounting Research, 1993. Vol.5, p.241-264.

KHEMLANI, L. **Sutter Medical Center Castro Valley**: Case Study of an IPD Project. AECbytes "Building the Future" Article. 2009. Disponível em <[http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/Sutter\\_IPDCaseStudy.html](http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/Sutter_IPDCaseStudy.html)>. Acessado em dezembro de 2011.

KIVINIEMI, A. *et al.* **Review of the development and implementation of IFC compatible BIM**. Erabuild, 2008.

KIZILTAS, S. *et al.* **Interoperable methodologies and techniques in CAD**. In: H. Karimi & B. Akinci (Eds.), CAD and GIS integration (pp. 73-110). Taylor & Francis, 2010.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico**. In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006.

KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM**: successful sustainable design with building information modeling. Wiley Publishing, Inc. Indianapolis, Indiana, 2008. ISBN: 978-0-470-23960-5.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling**: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. McGraw-Hill, 2008. ISBN: 978-0-07-149453-3.

LIMA, M. M. X., MAIA, S. C., BARROS NETO, J. P. **O pensamento complexo e suas implicações ao processo de projeto**. In: V TIC - Salvador, Bahia, Brasil, 4 e 5 de agosto de 2011.

LORDSLEEM JÚNIOR, A.C. **Execução e Inspeção de Alvenaria Racionalizada**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

LUKKA, K. **The constructive research approach**. In: Ojala, L. & Hilmola, O-P. (eds.) Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B1: 2003.

MATTEWS, O.; HOWELL, G. A. **Integrated Project Delivery an example of relational contracting**. In: Lean Construction Journal. Vol 2 #1. 2005. ISSN: 1555-1369.

MCGRAW-HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM in Europe**. Getting Building Information Modeling to the Bottom Line in the United Kingdom, France and Germany. SmartMarket Report. McGraw-Hill, 2010.

MEHIS – Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais. **Desenvolvimento e difusão de tecnologias construtivas para habitação social no Ceará**. Rede Habitare/Finep. Fortaleza, 2010.

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

MITCHELL, W. J. **Beyond the Ivory Tower**: Constructing Complexity in the Digital Age. In: Science Magazine Vol. 303 no. 5663. Março de 2004. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org>>. Acessado em novembro de 2011.

MONTEIRO, A.; FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. **Paradigmas de representação de modulação de alvenarias em ferramentas BIM**. Gestão & Tecnologia de Projetos. Vol. 4, nº 2 [ISSN 19811543]. Novembro, 2009.

MONTEIRO, A. **Projeto para produção de vedações verticais em alvenaria em uma ferramenta CAD-BIM**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Paulo, 2011.

MORAES, D. **Metaprojeto – o design do design**. Editora Edgar Blüecher LTDA, 2010. ISBN: 978-85-212-0516-6.

MORAR DE OUTRAS MANEIRAS – MOM. **Coordenação Modular na Construção Civil** (página da internet). Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. Disponível em: <<http://www.mom.arq.ufmg.br>>. Acessado em novembro de 2010.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. 3. ed., Porto Alegre: Sulina, 2007.

MÖTTÖNEN, M. **Requirements engineering**. Linking design and manufacturing in ICT companies. Faculty of Technology, Department of Industrial Engineering and Management. University of Oulu. Finland, 2009.

NARDELLI, E. S. **Tecnologia digital avançada na produção de Habitações de Interesse Social – HIS no Brasil**. IN: XIV Congreso de La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. SiGRADI 2010. Bogotá – Colombia.

NATIVIDADE, V. G. **Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2010.

NIBS. **National Building Information Modeling Standard: Version 1 – Part 1: Overview, Principles, and Methodologies**. National Institute of Building Sciences, 2007.

NICHOLSON-COLE, D. **Object Making with ArchiCAD: GDL for beginners**. Graphisoft, 2000.

OHASHI, E. A. M.; FRANCO, L. S. **Fluxo de informação no processo de projeto em alvenaria Estrutural**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Civil, BT/PCC/307. São Paulo: EPUSP, 2001.

ORCIUOLI, A. **Projeto assistido por computador: ontem, hoje, amanhã**. In: Revista Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: PINI. Ed. 197. Agosto, 2010.

\_\_\_\_\_. **TI aplicada à arquitetura: ontem, hoje, amanhã**. In: Revista Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: PINI. Ed. 181. Abril, 2009.

PANET, A.; BIOCA, J.; Azevedo, M. H.; FREIRA, S. **A modulação de Frank Lloyd Wright**. Instituição: UNIPÊ – Centro Universitário de João Pessoa, 2007.

PEÑA, M. D.; FRANCO, L. S.. **Método para elaboração de projeto para produção de vedações verticais em alvenaria**. São Paulo: EPUSP, 2004. 16 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/363).

PUPO, R. T. **Ensinar a fabricar**. In: V TIC – Salvador, Brasil, 4 e 5 de agosto de 2011.

RAUBER, F. C. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul (2005).

RICHARD, R. B. **A generic classification of industrialized Building Systems.** In: KAZI, A. S. *et al.* (org) *Open Building Manufacturing – Core Concepts and Industrial Requirements.* ManuBuild em colaboração com VTT – Technical Research Centre of Finland. Finlândia, 2007.

RODRIGUES, F. C. **Steel Framing:** Engenharia. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. ISBN: 85-89819-11-6.

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produtos de obras repetitivas.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

RUSCHEL, R. C. *et al.* **Building Information Modeling para projetistas.** In: FABRÍCIO, M. M. e ORNSTEIN, S. W. (org.) *Qualidade no projeto de edifícios.* São Carlos: RiMa Editoria, ANTAC, 2010.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos -** formulação e aplicação de uma metodologia. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SAN MARTIN, A. P. **Método de Avaliação de Tecnologias de Edificação para a Habitação de Interesse Social sob o Ponto de Vista da Gestão dos Processos de Produção.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

SANTOS, A. *et al.* **Gargalos para a Disseminação da Coordenação Modular.** In: *Colóquios de Pesquisa em Habitação – Coordenação Modular e Mutabilidade.* Escola de Arquitetura UFMG. Minas Gerais, 2007.

SANTOS, E. T.; BARISON, M. B. **O desafio para as Universidades.** In: *Revista Construção Mercado.* São Paulo: PINI. Ed. 115. Fevereiro, 2011.

SCHRAMM, F. K. **Projeto de sistemas de produção na construção civil utilizando a simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

SILVA, E. L. **Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355.** Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.

SUCCAR, B. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.** *Automation in Construction*, 18(3), pp. 357-375. 2009.

TÉCHNE. **Construção Integrada.** São Paulo: PINI. Ed. 127. Outubro, 2007.

\_\_\_\_\_. **Como Construir:** Steel frame - estrutura. São Paulo: PINI. Ed. 137. Agosto, 2008a.

\_\_\_\_\_. **Como Construir: Steel frame - fechamento.** São Paulo: PINI. Ed. 139. Outubro, 2008b.

\_\_\_\_\_. **Modulação blocada.** São Paulo: PINI. Ed. 176. Novembro, 2011.

THOMSEN, C. **Managing Integrated Project Delivery: Concepts and Contract Strategies (Working Draft)** 2008. Disponível em <<http://www.e-builder.net/Documents/IPD.pdf>>. Acessado em outubro de 2011.

TOBIN, J. **Proto-Building: To BIM is to Build.** AECbytes, 28 mai. 2008. Disponível em <<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding.html>>. Acessado em março de 2011.

TU, Q.; VONDEREMBSE, M. A.; RAGU-NATHAN, T. S. **The impact of time-based manufacturing practices on mass customization and value to customer.** Journal of Operations Management 19, pp 201-217. 2001.

VASCONCELLOS, M. J. E. **Pensamento sistêmico: o novo paradigma da ciência.** Campinas: Papirus, 2002.

VIEIRA, J. A. **Teoria do conhecimento e arte: formas de conhecimento.** Arte e ciência, uma visão a partir da complexidade. Fortaleza: Expressão gráfica e editora, 2006.

VILATÓ, R. R., FRANCO, L. S. **Racionalização do projeto de edifícios em alvenaria estrutural.** (Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; PCC-2515 Alvenaria Estrutural). São Paulo, 2000.

VIVAN, A. L. **Projetos para produção de residências unifamiliares em light steel framing.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

WISE, D. **Informing Design Decisions.** In: POWELL, P.; BRANDON, P. Building Design, Quality, Cost and Profit. 1984.

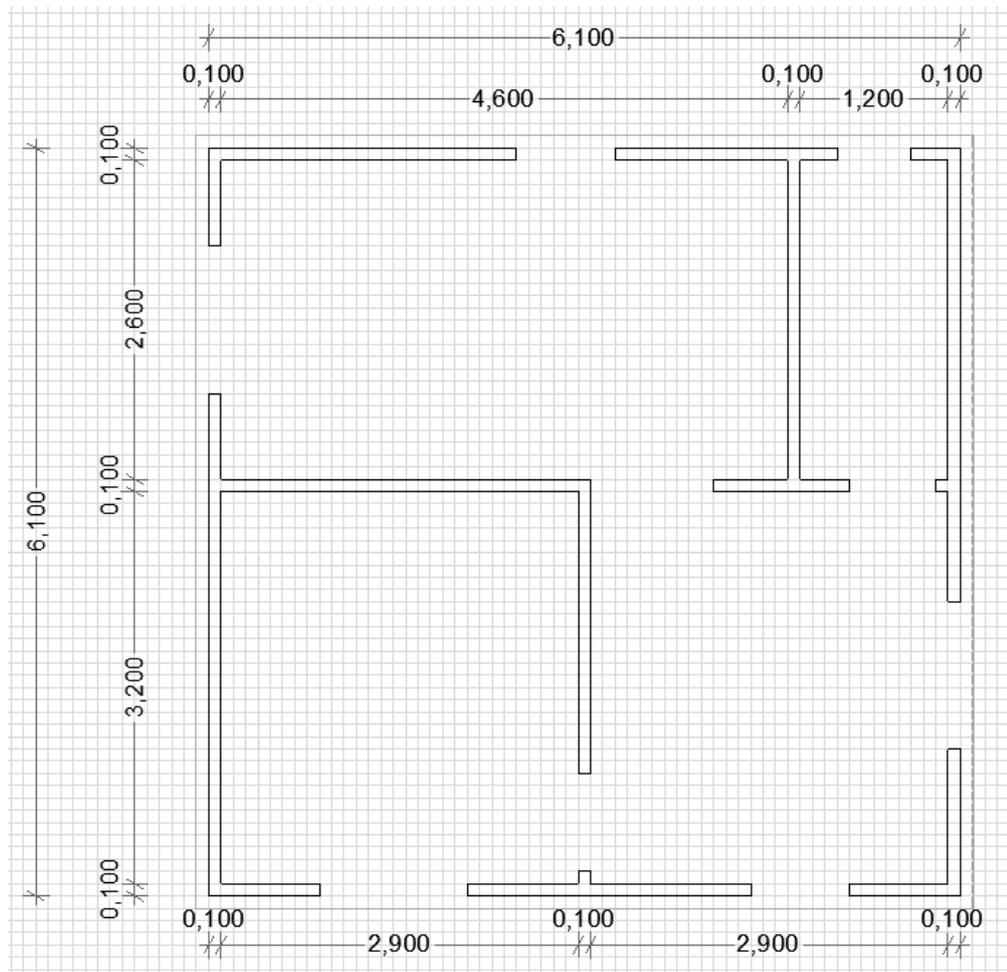
ZHANG, Y.; GUANGBIN W. **Cooperation between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery Method Leads to Paradigm Shift of AEC Industry.** Management and Service Science, 2009. ISBN: 978-1-4244-4638-4.

ZECHMEISTER, D. **Estudo para padronização das dimensões de unidade de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

## APÊNDICES

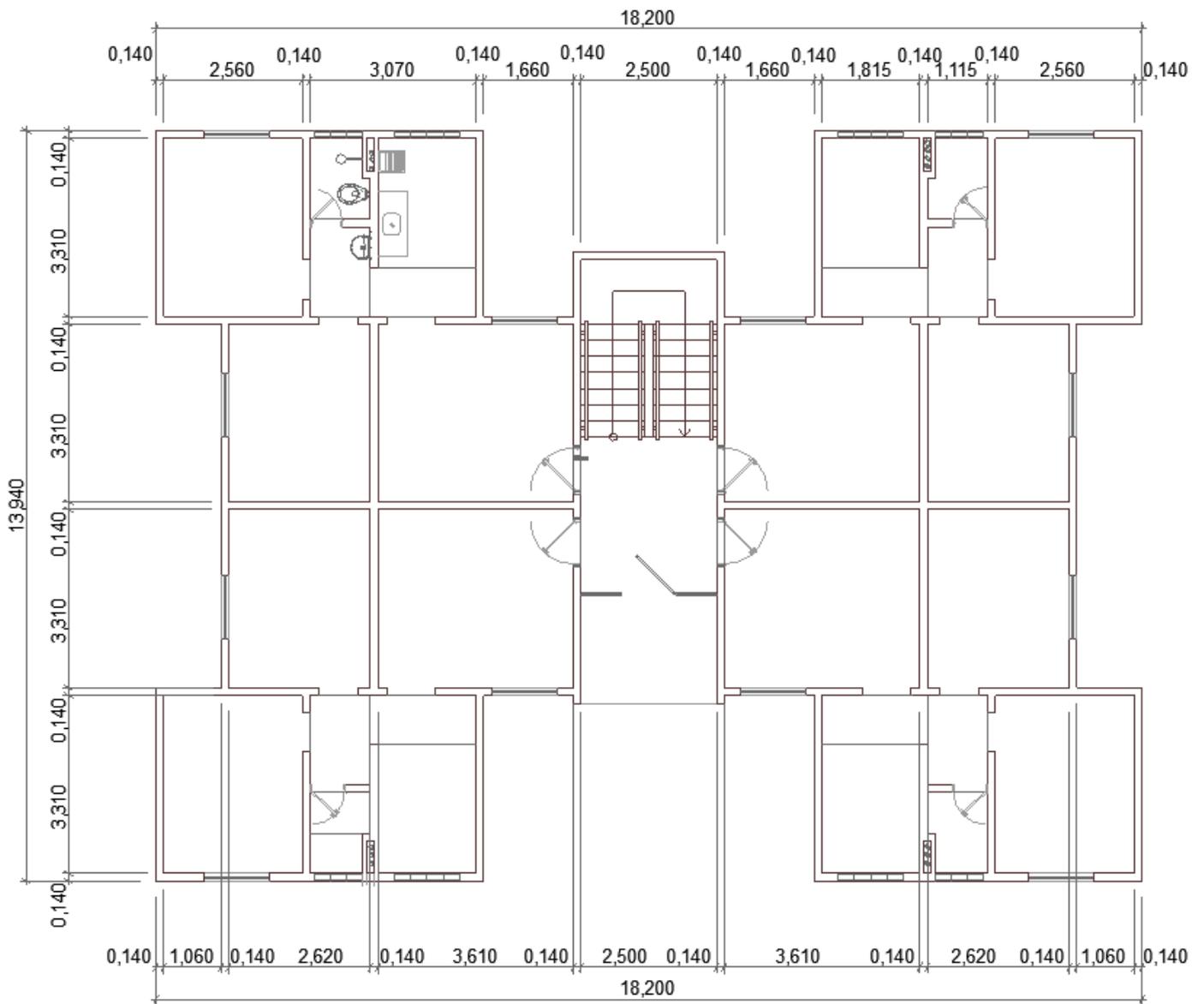
APÊNDICE A – Projetos A e B, utilizados na presente pesquisa, incluindo as adaptações realizadas na planta baixa do projeto B, em função do sistema construtivo utilizado.

PROJETO A – PLANTA BAIXA ORIGINAL  
SEM ESCALA



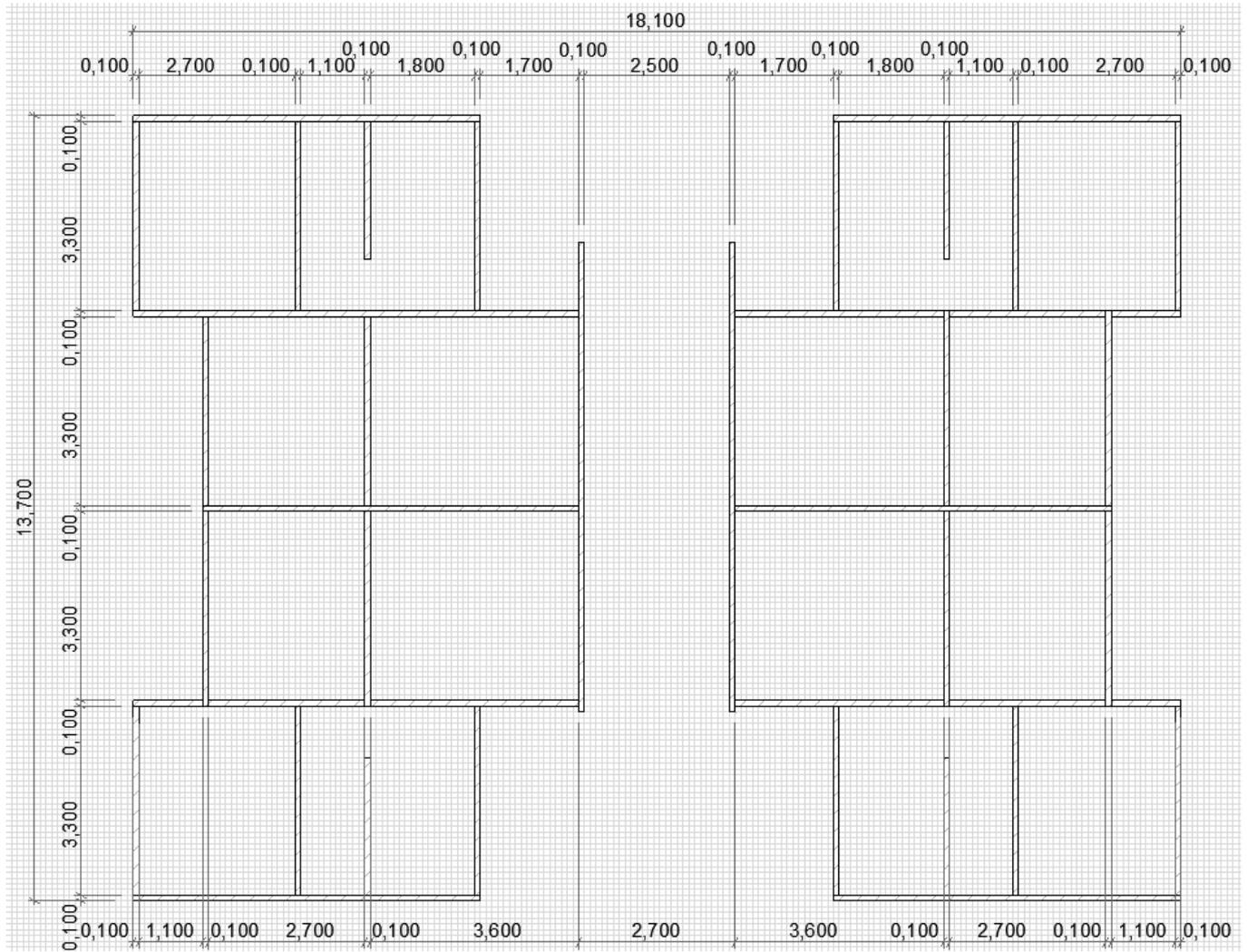
Fonte: Autor.

**PROJETO B – PLANTA BAIXA ORIGINAL (4 UNIDADES HABITACIONAIS)  
SEM ESCALA**



Fonte: Autor.

**PROJETO B – PLANTA BAIXA ADAPTADA (4 UNIDADES HABITACIONAIS)  
SEM ESCALA**



Fonte: Autor.

**APÊNDICE B – Tabelas de configurações das paginações levantadas para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, utilizando a família de blocos MEHIS.**

**TABELA PARA OS ENCONTROS L e T, divididos segundo suas recorrências em grupos de 01 a 05.**

G01	T			Li			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
T							T
Li							Li

G02	Lc			Ø			G04
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
T							T
Li							Li

G03	Lc			Ø			G05
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Lc							Lc

Fonte: Autor.

TABELA PARA OS ENCONTROS X, divididos segundo suas recorrências em grupos de 06 a 08.

<b>G06</b>			
	<b>X</b>		
	R1	R2	R3
<b>X</b>			
<b>T</b>			
<b>Li</b>			

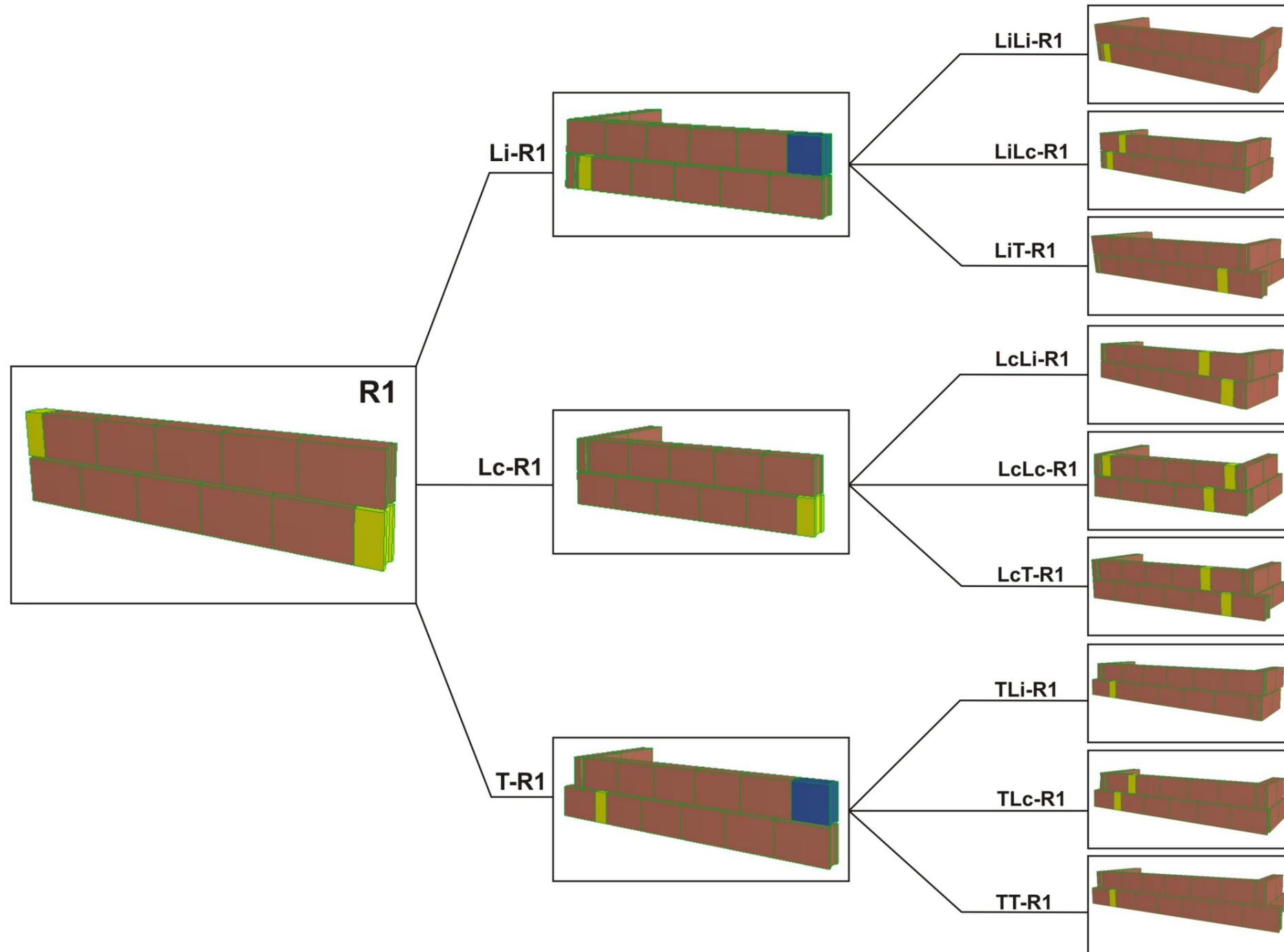
<b>G07</b>			
	<b>X</b>		
	R1	R2	R3
<b>Lc</b>			

<b>G08</b>			
	<b>X</b>		
	R1	R2	R3
<b>∅</b>			

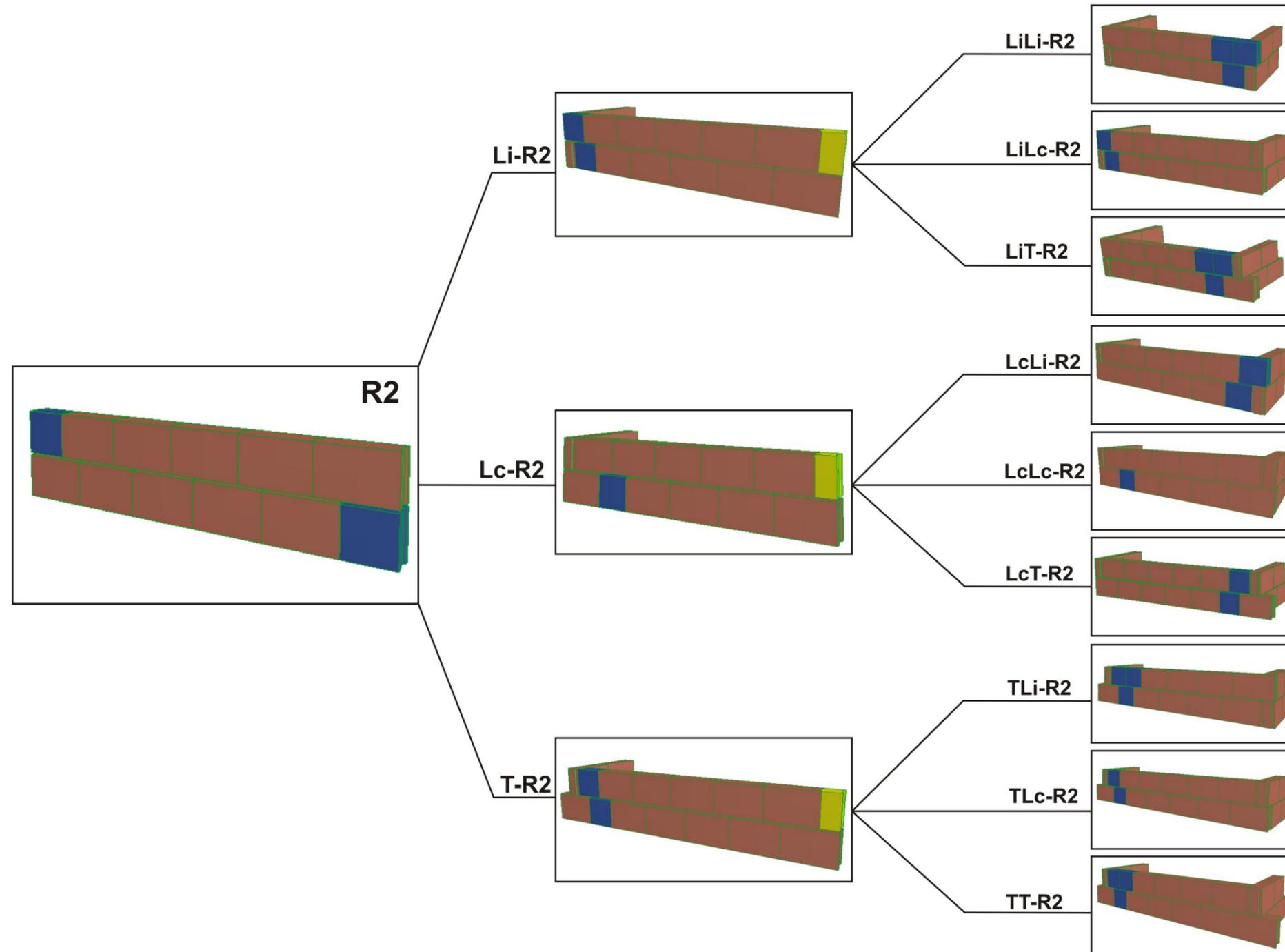
APÊNDICE C – Quadros de evolução das configurações levantadas para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, utilizando a família de blocos MEHIS.

QUADRO PARA OS ENCONTROS L e T, a partir da alvenaria isolada – R1

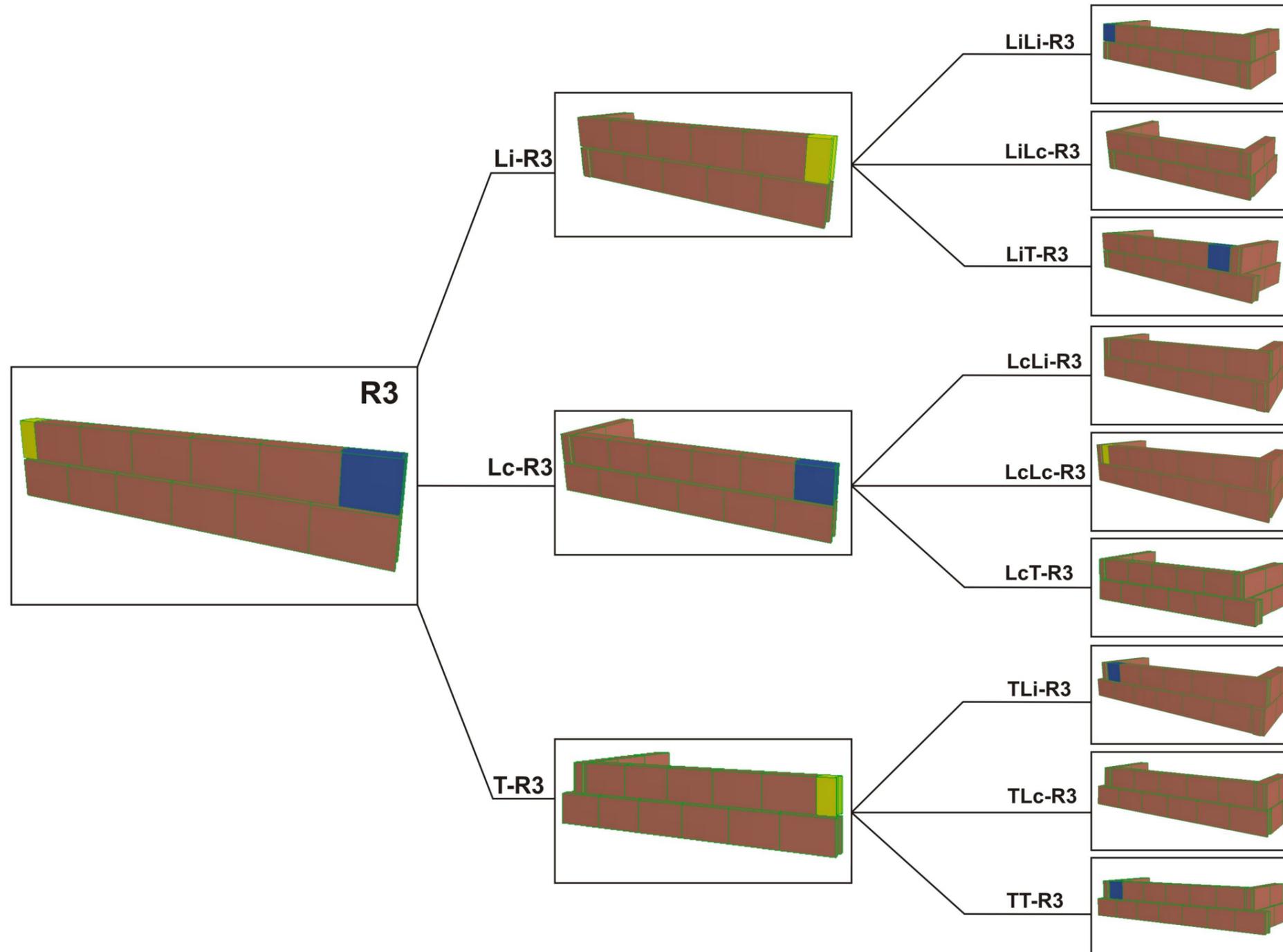


Fonte: Autor.

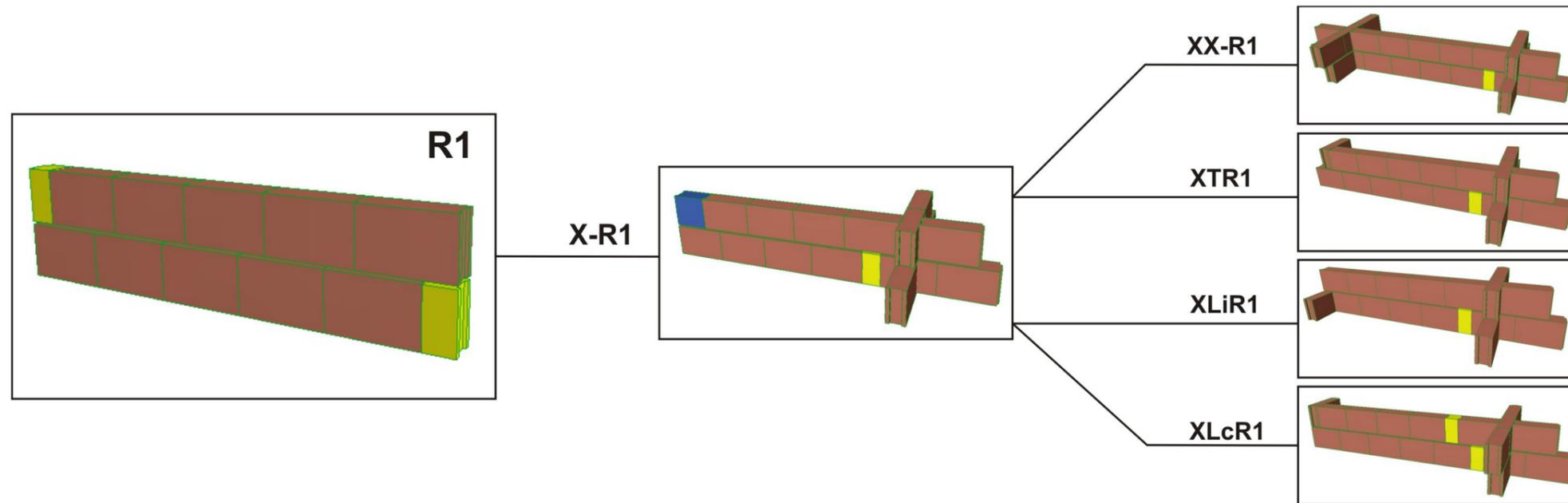
QUADROS PARA OS ENCONTROS L e T, a partir da alvenaria isolada – R2



QUADROS PARA OS ENCONTROS L e T, a partir da alvenaria isolada – R3

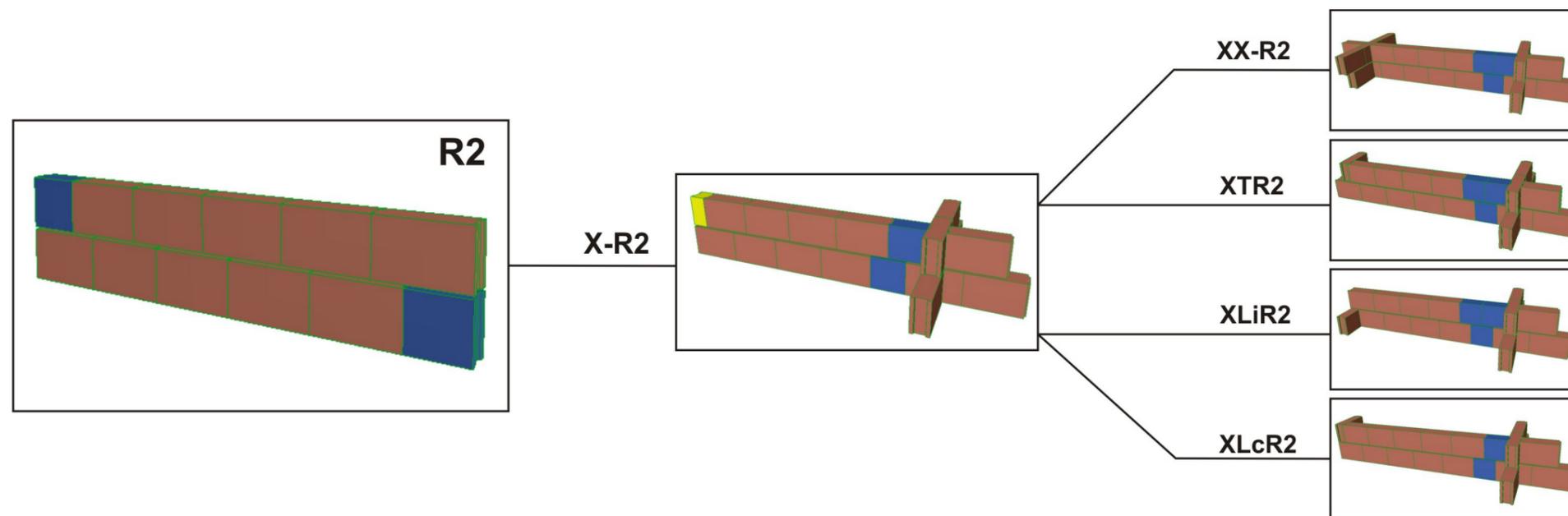


**QUADROS PARA OS ENCONTROS X, a partir da alvenaria isolada – R1**



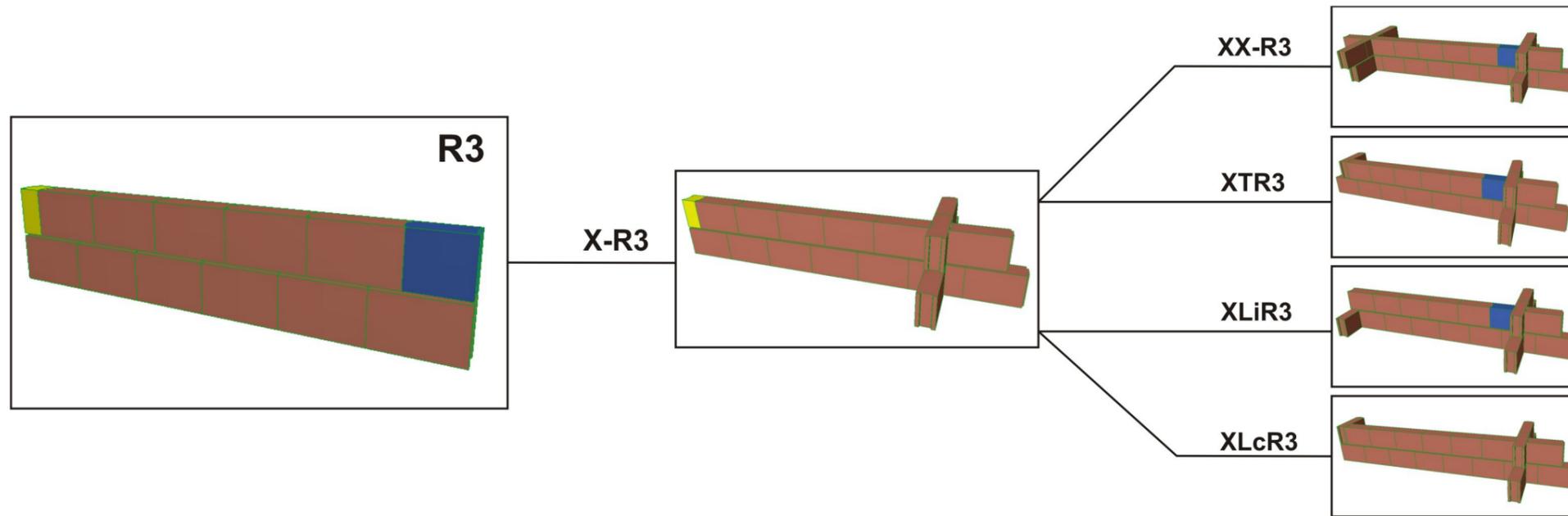
Fonte: Autor.

**QUADROS PARA OS ENCONTROS X, a partir da alvenaria isolada – R2**



Fonte: Autor.

**QUADROS PARA OS ENCONTROS X, a partir da alvenaria isolada – R3**



Fonte: Autor.

**APÊNDICE D – Resultado da aplicação do *plug-in* para os projetos A e B.**

**PROJETO A**

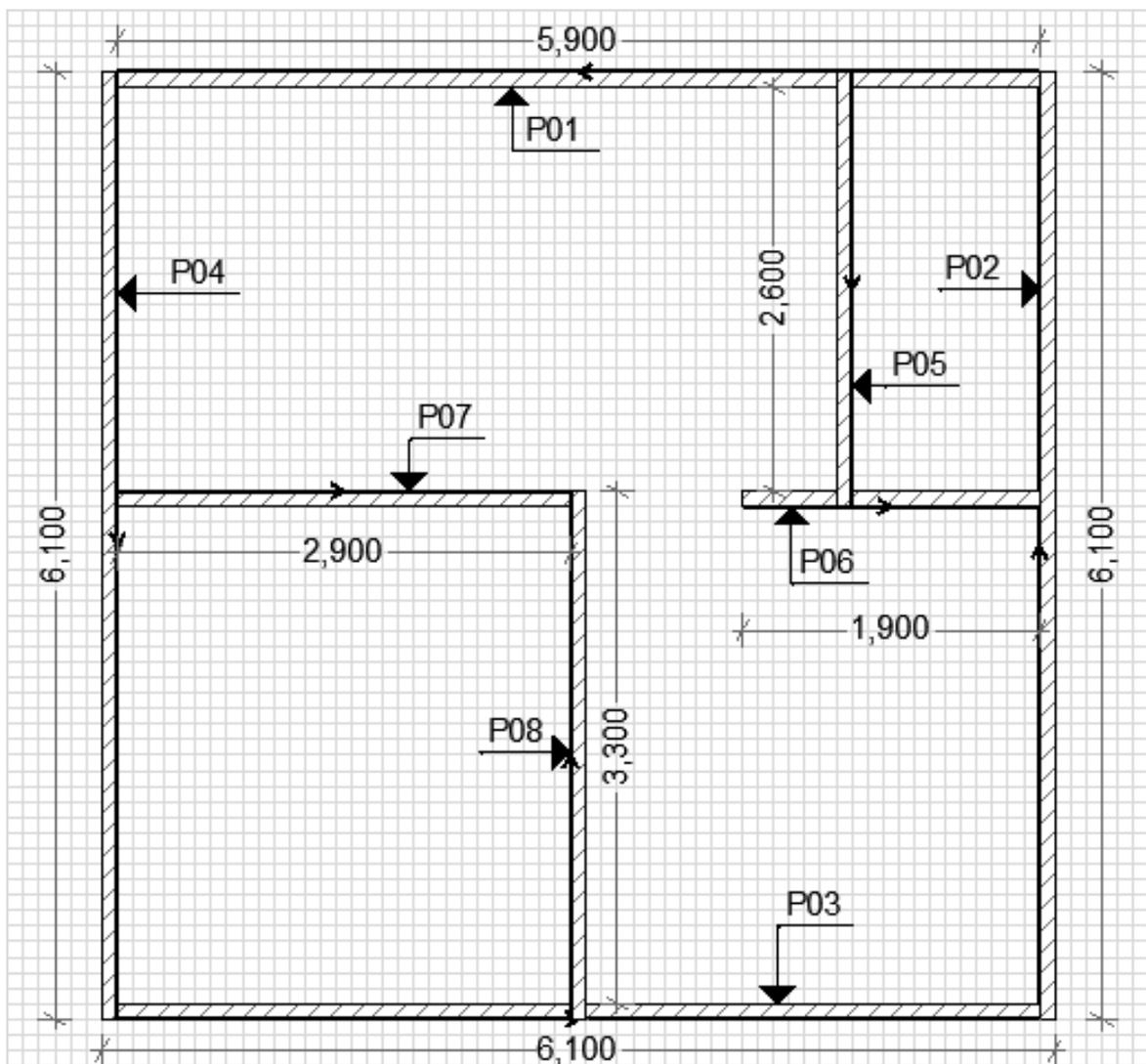
**LISTA DE QUANTITATIVOS**

Lista Inventário de Objectos				
Quanti...	Tipo de Bloco	Comprimento	Altura	Largura
21	Bloco Um Terco	0.10	0.19	0.10
161	Bloco Dois Tercos	0.20	0.19	0.10
1505	Bloco Inteiro	0.30	0.19	0.10
1687				

Fonte: Autor

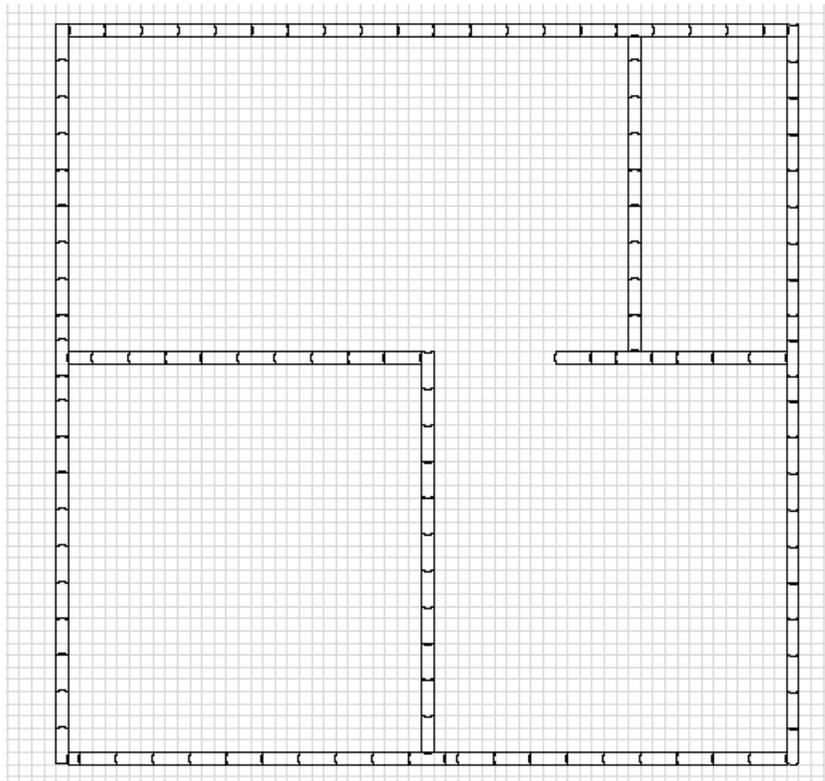
**PLANTAS**

**PLANTA BAIXA – LINHAS DE REFERÊNCIA  
SEM ESCALA**



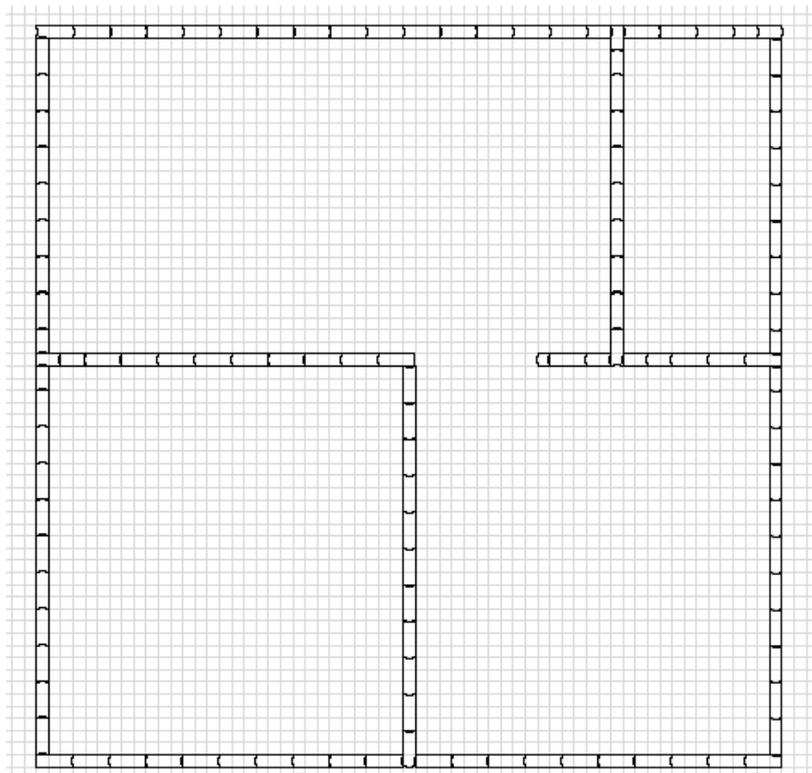
Fonte: Autor

PLANTA BAIXA – PRIMEIRA FIADA  
SEM ESCALA



Fonte: Autor.

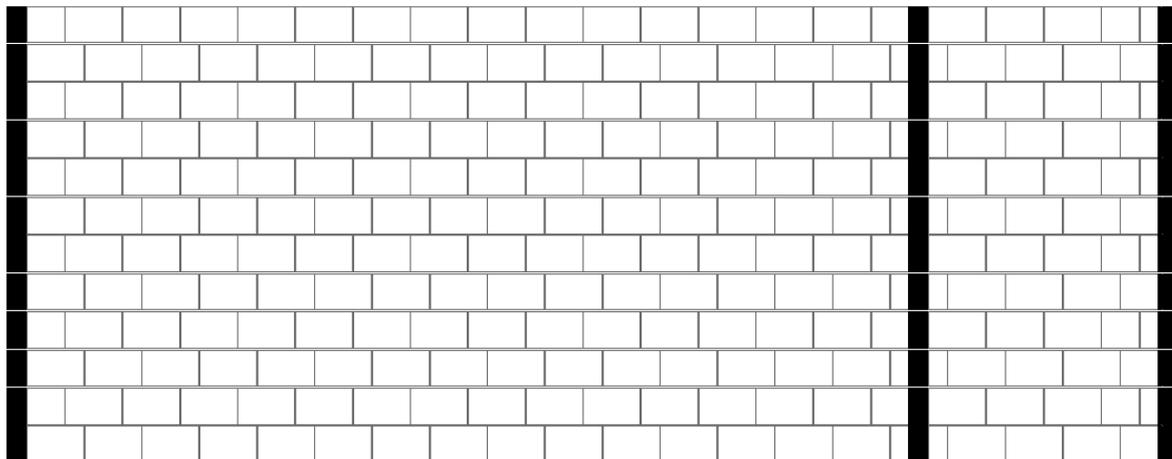
PLANTA BAIXA – SEGUNDA FIADA  
SEM ESCALA



Fonte: Autor

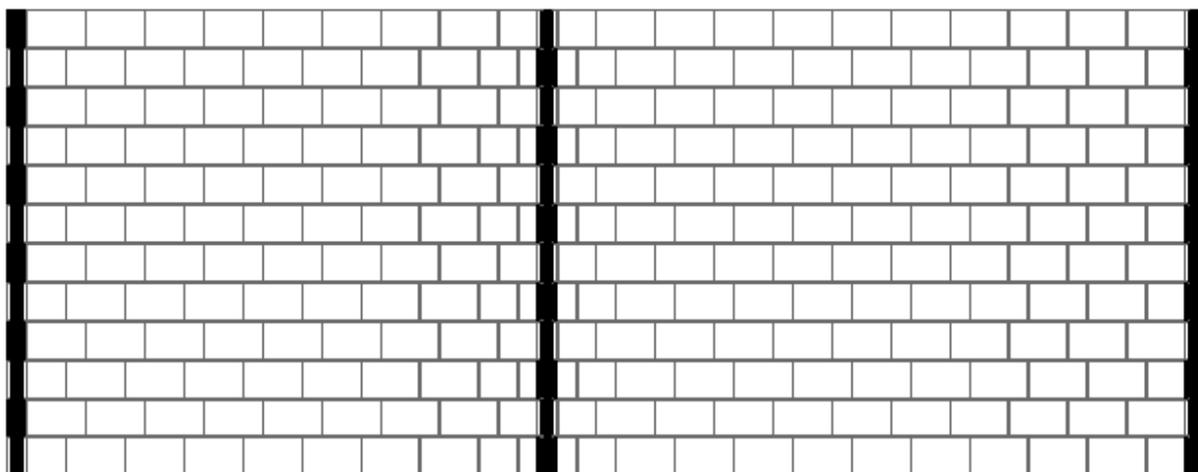
## ELEVAÇÕES EM CORTE

## PAREDE P01 – SEM ESCALA



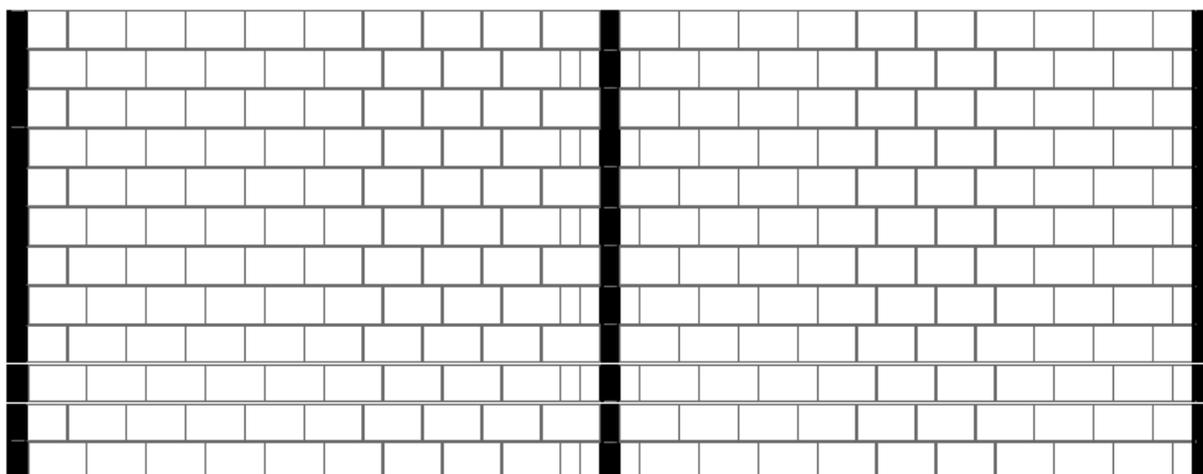
Fonte: Autor

## PAREDE P02 – SEM ESCALA



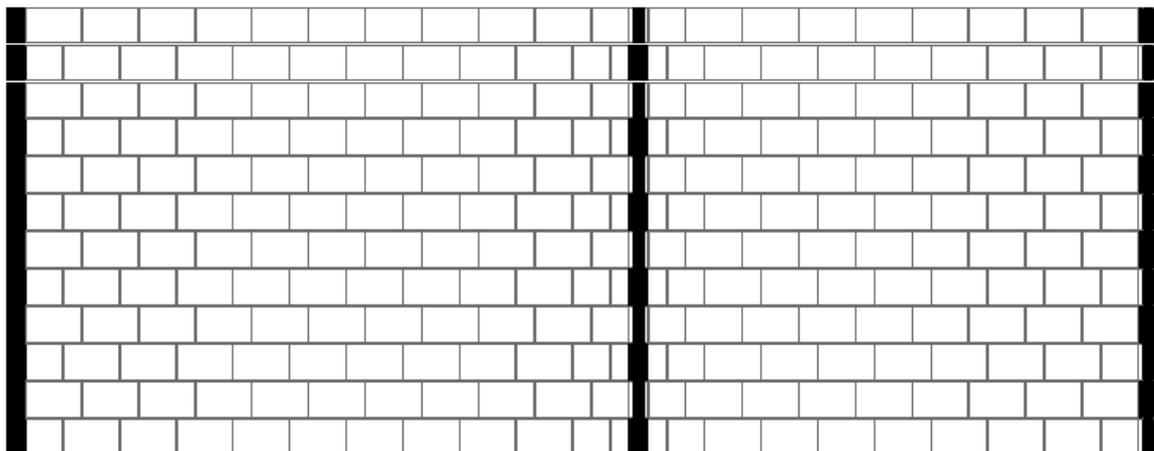
Fonte: Autor

## PAREDE P03 – SEM ESCALA



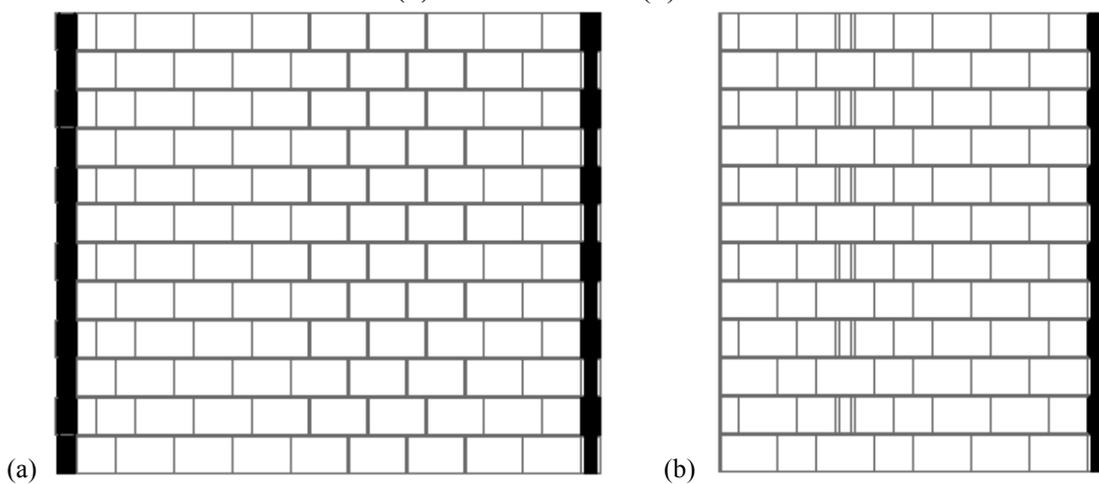
Fonte: Autor

PAREDE 04 – SEM ESCALA



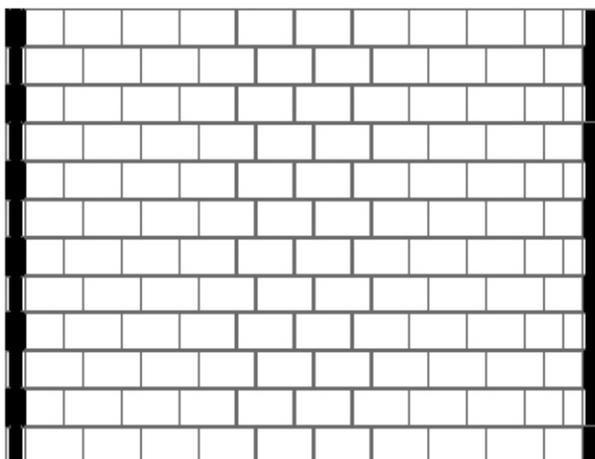
Fonte: Autor

PAREDE 05(a) E PAREDE 06 (b) – SEM ESCALA



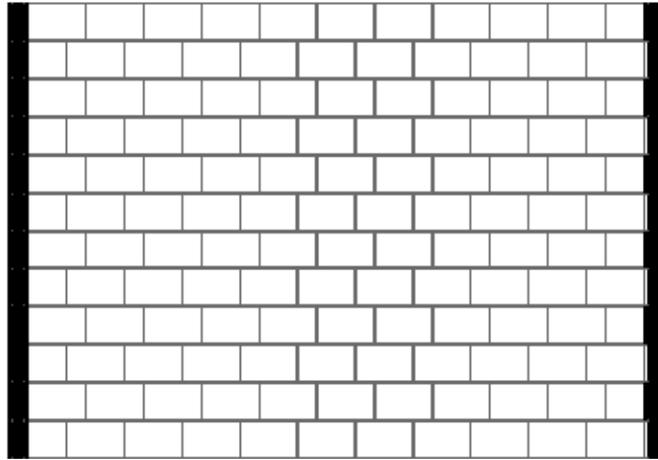
Fonte: Autor

PAREDE 07 – SEM ESCALA



Fonte: Autor

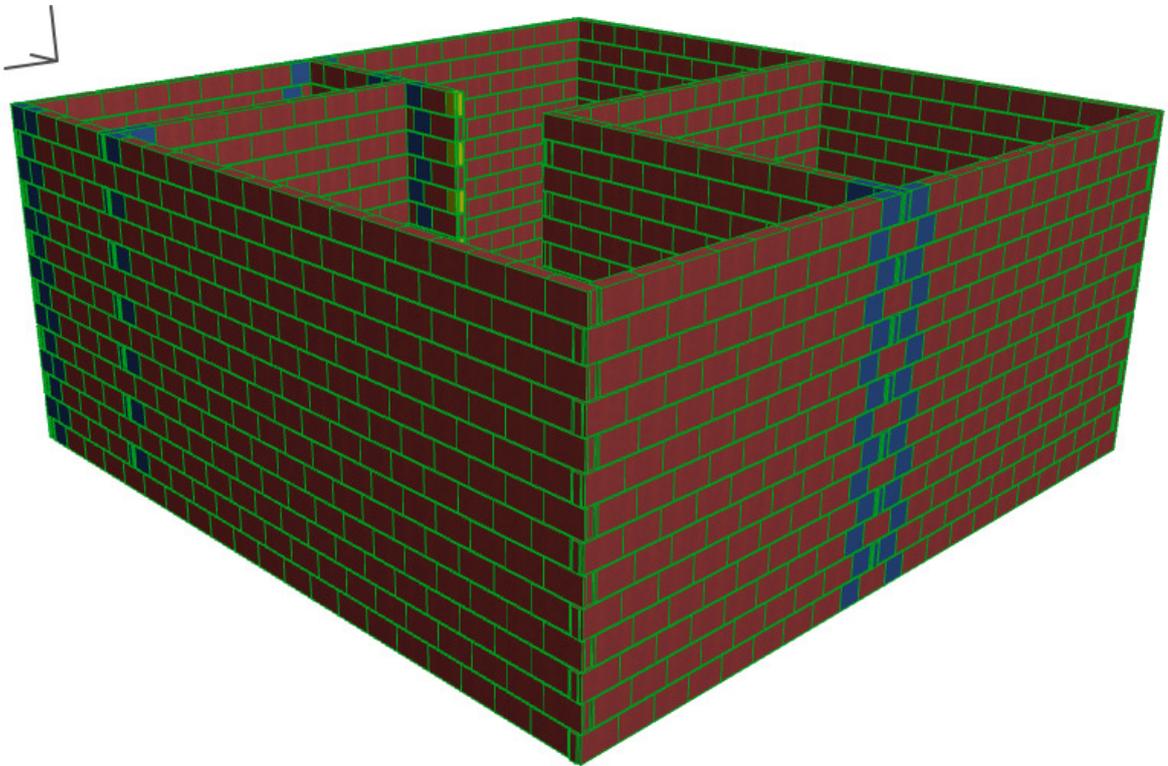
## PAREDE 08 – SEM ESCALA



Fonte: Autor

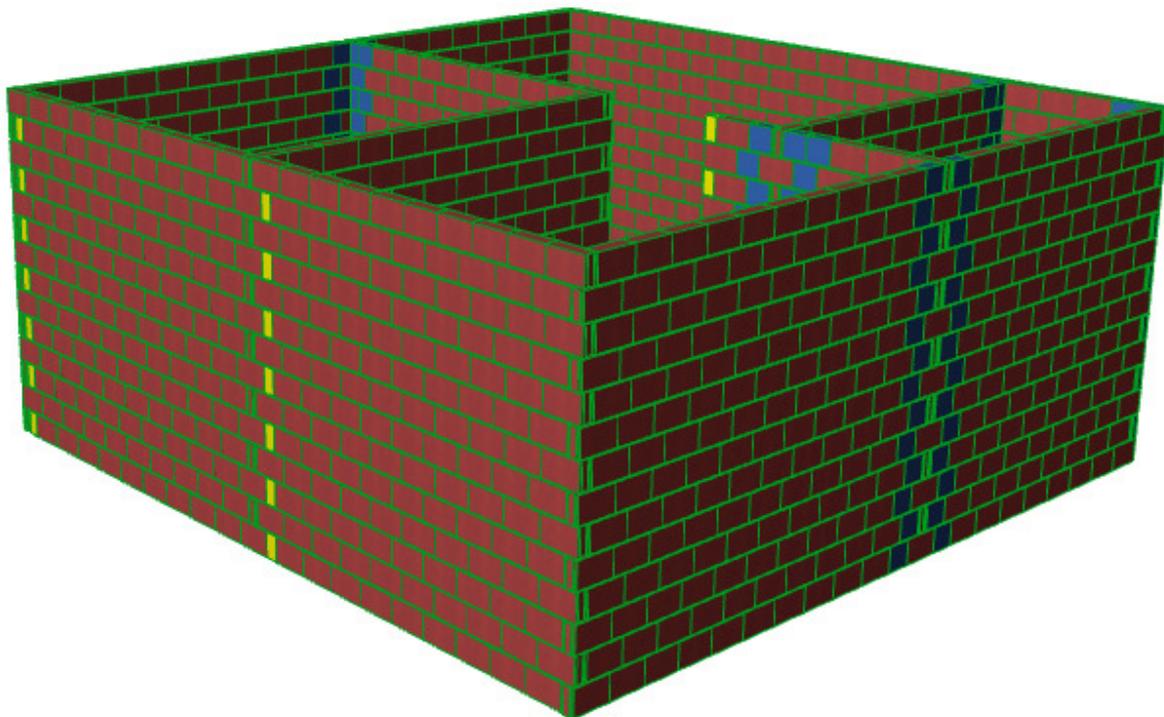
## PERSPECTIVAS

## PERSPECTIVA A – VISTA P01 E P04



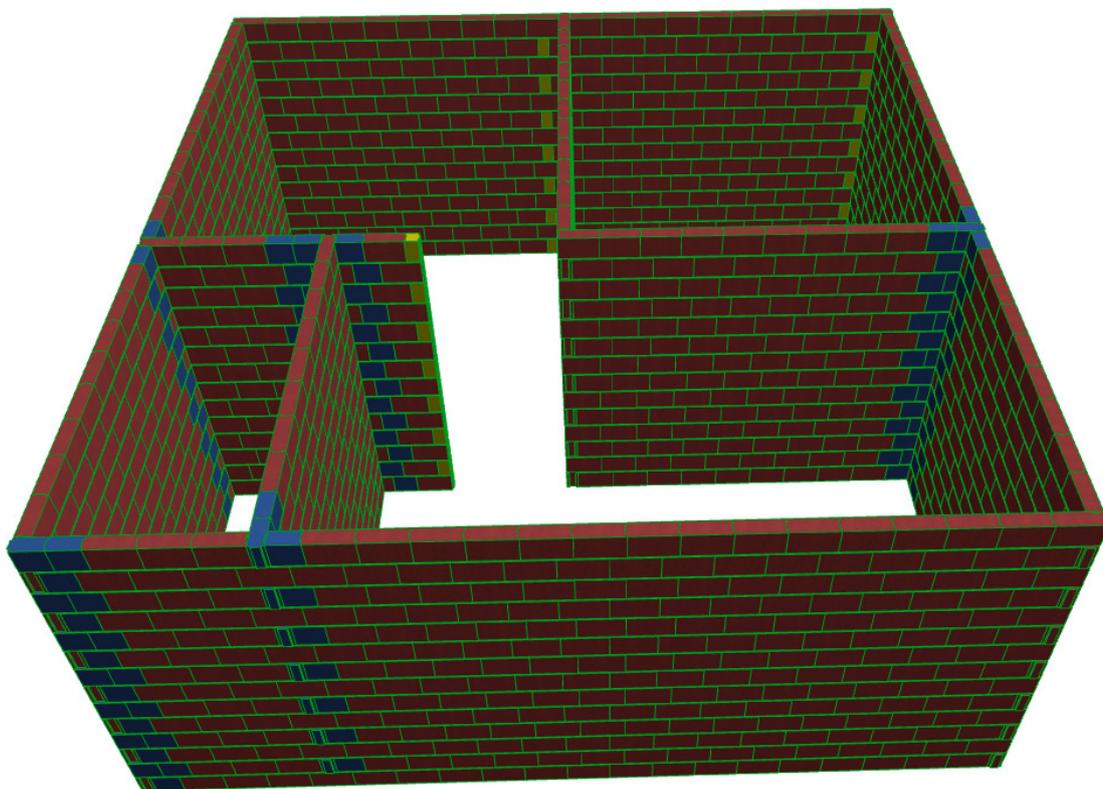
Fonte: Autor

## PERSPECTIVA B – VISTA P02 E P03



Fonte: Autor

## PERSPECTIVA C – VISTA AÉREA A PARTIR DA P01



Fonte: Autor

## PROJETO B – 1 UNIDADE HABITACIONAL

OBS: Considerar continuidade das paredes P08 e P10 com a unidade vizinha.

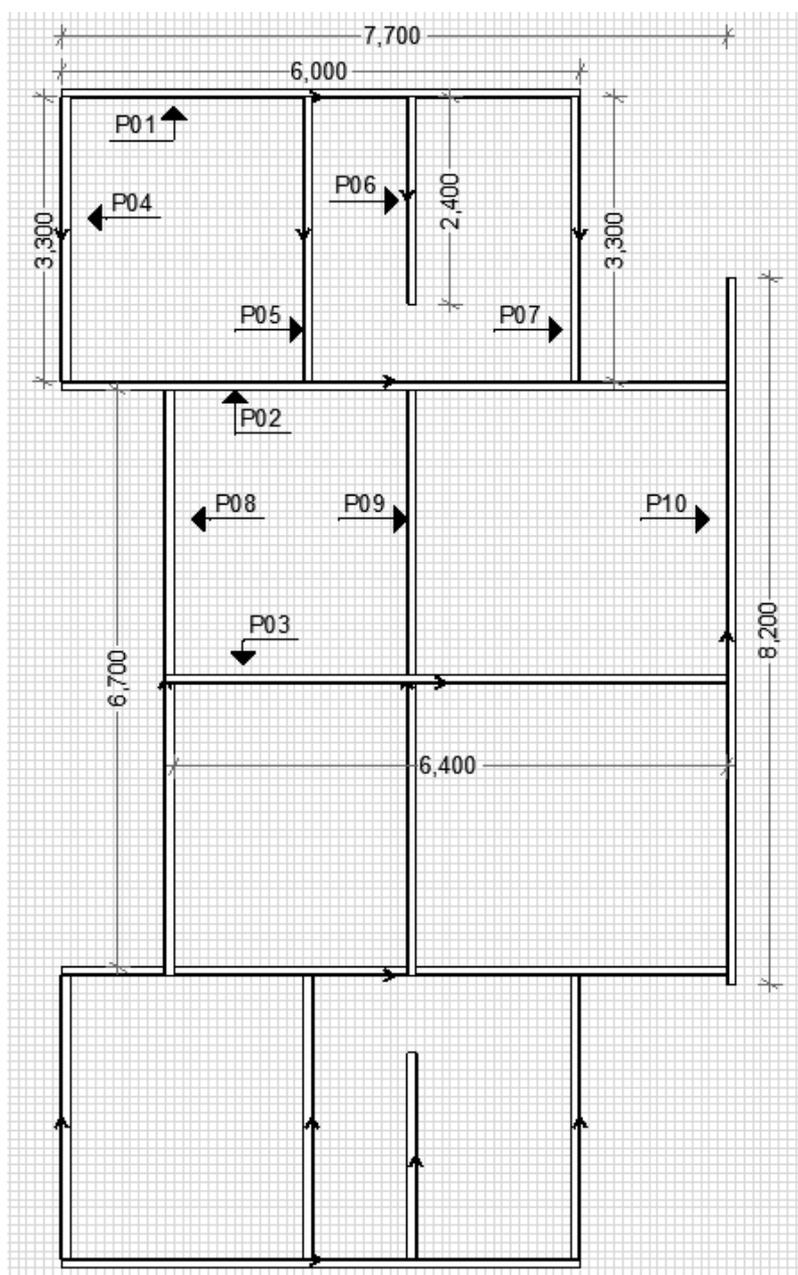
### LISTA DE QUANTITATIVOS

Lista Inventário de Objectos				
Quanti...	Tipo de Bloco	Comprimento	Altura	Largura
87	Bloco Um Terco	0.300	0.190	0.100
219	Bloco Dois Tercos	0.300	0.190	0.100
3785	Bloco Inteiro	0.300	0.190	0.100
4091				

Fonte: Autor

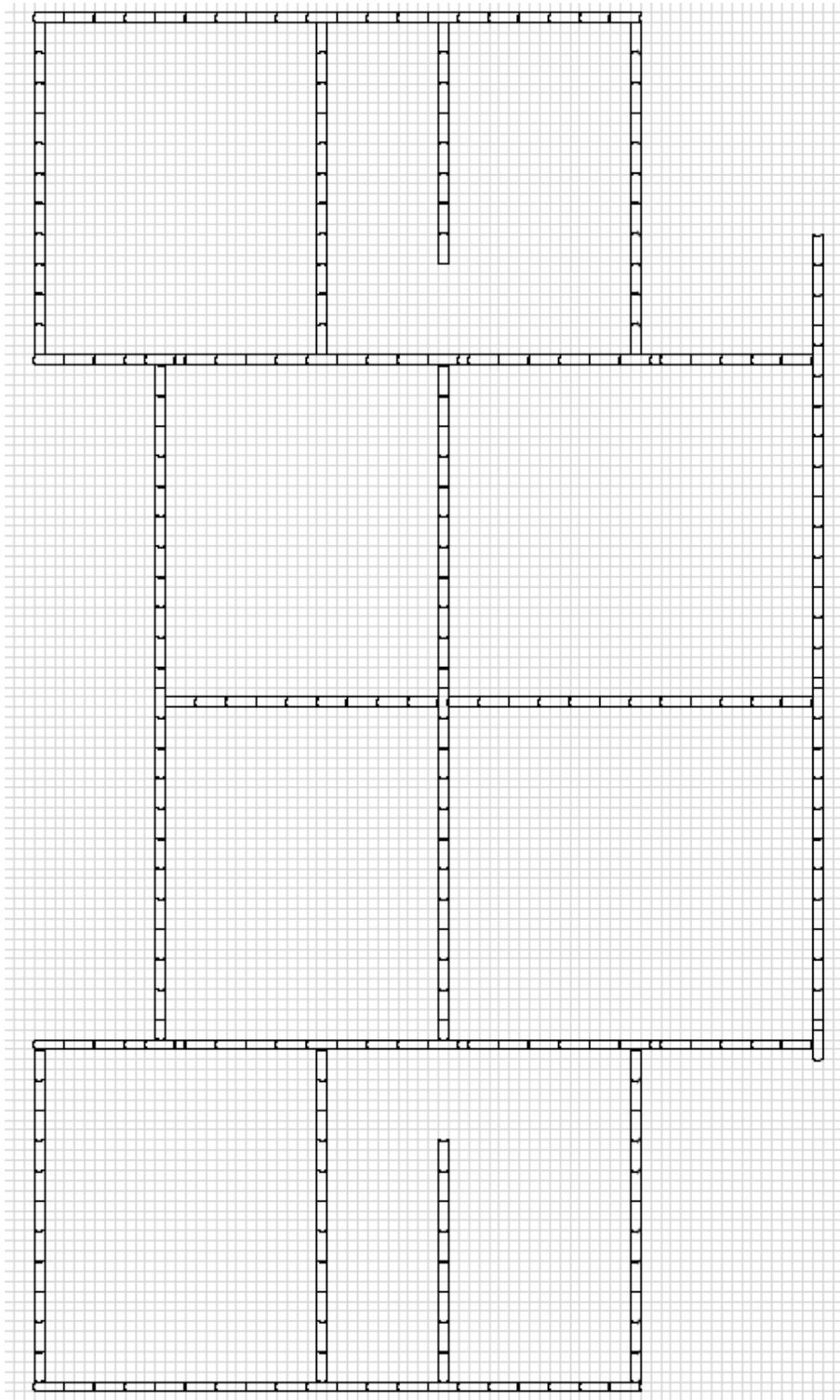
### PLANTAS

#### PLANTA BAIXA – LINHAS DE REFERÊNCIA SEM ESCALA



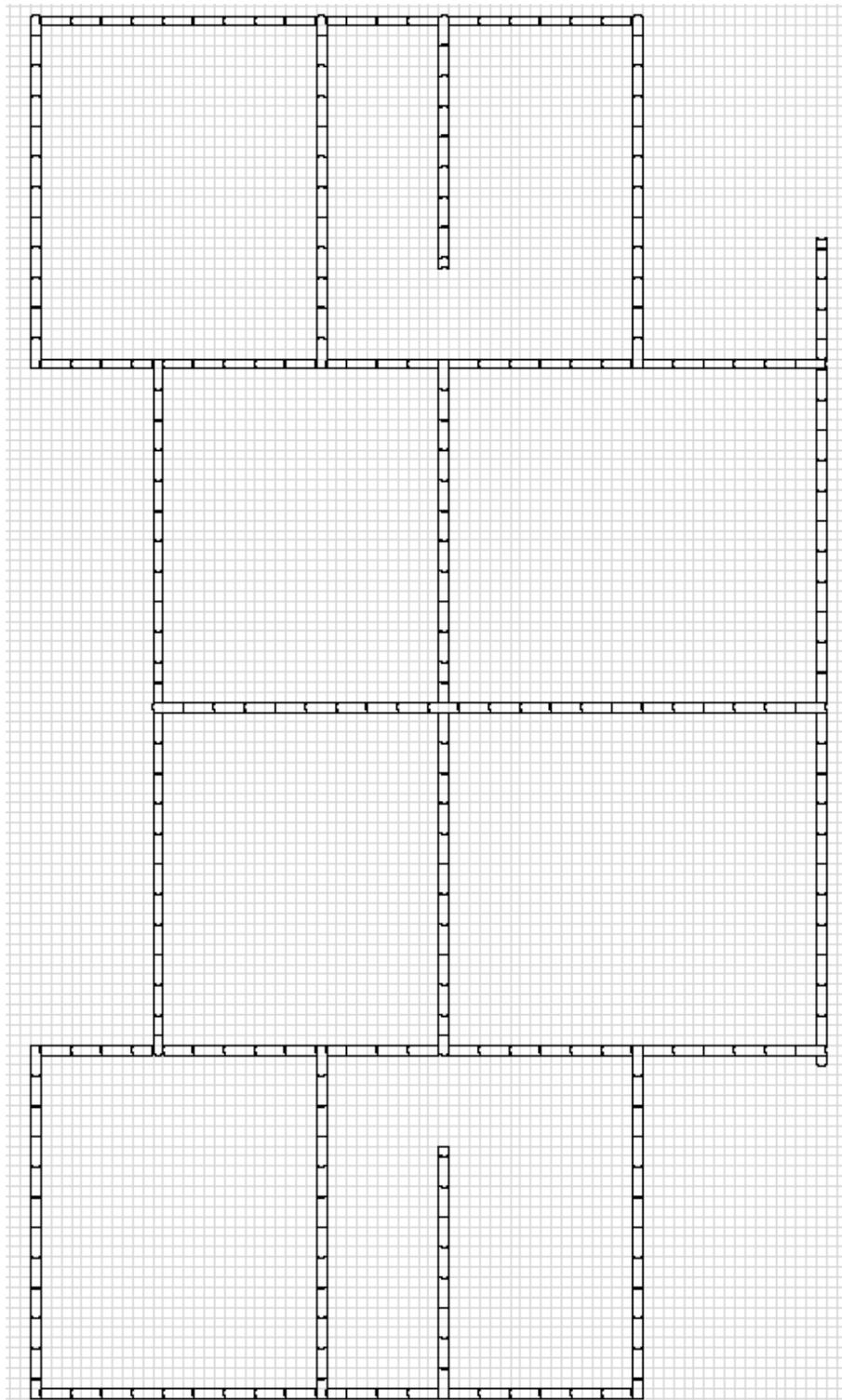
Fonte: Autor

PLANTA BAIXA – PRIMEIRA FIADA  
SEM ESCALA



Fonte: Autor.

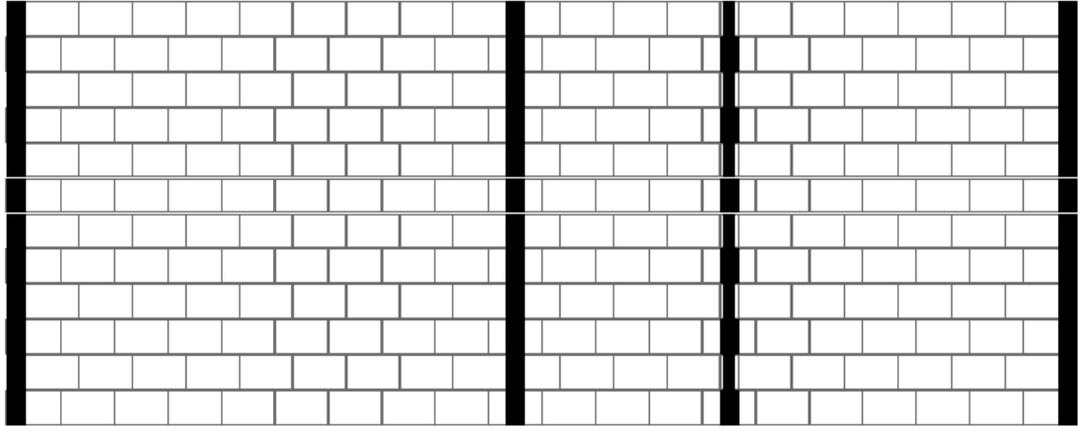
PLANTA BAIXA – SEGUNDA FIADA  
SEM ESCALA



Fonte: Autor

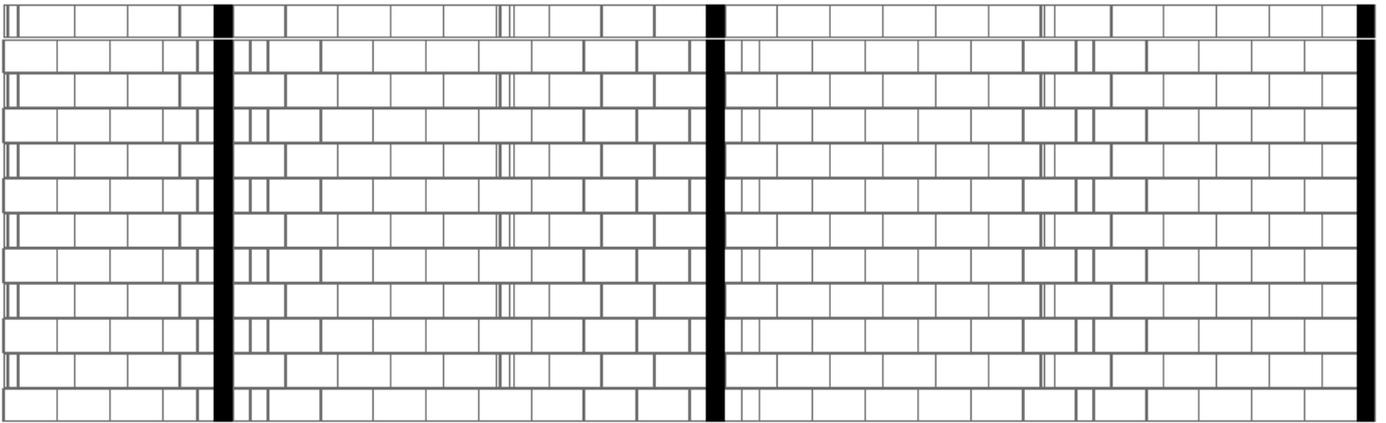
## ELEVAÇÕES EM CORTE

## PAREDE P01 – SEM ESCALA



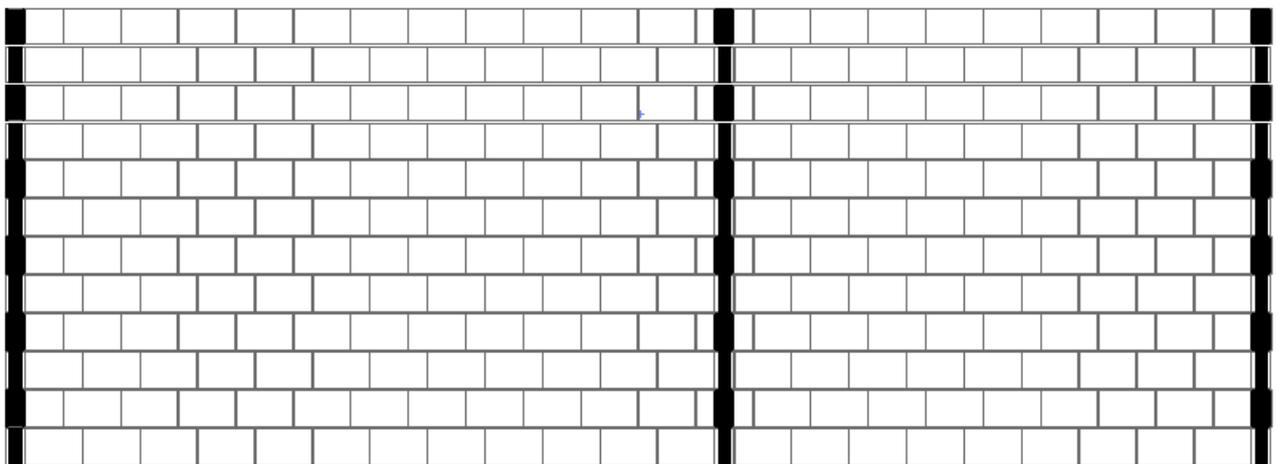
Fonte: Autor

## PAREDE P02 – SEM ESCALA



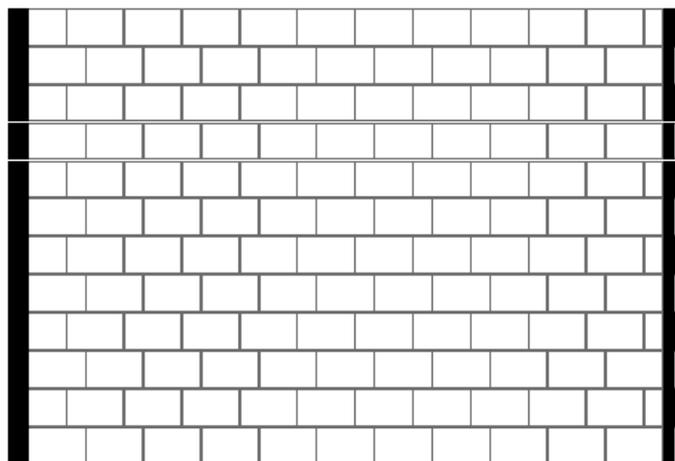
Fonte: Autor

## PAREDE P03 – SEM ESCALA



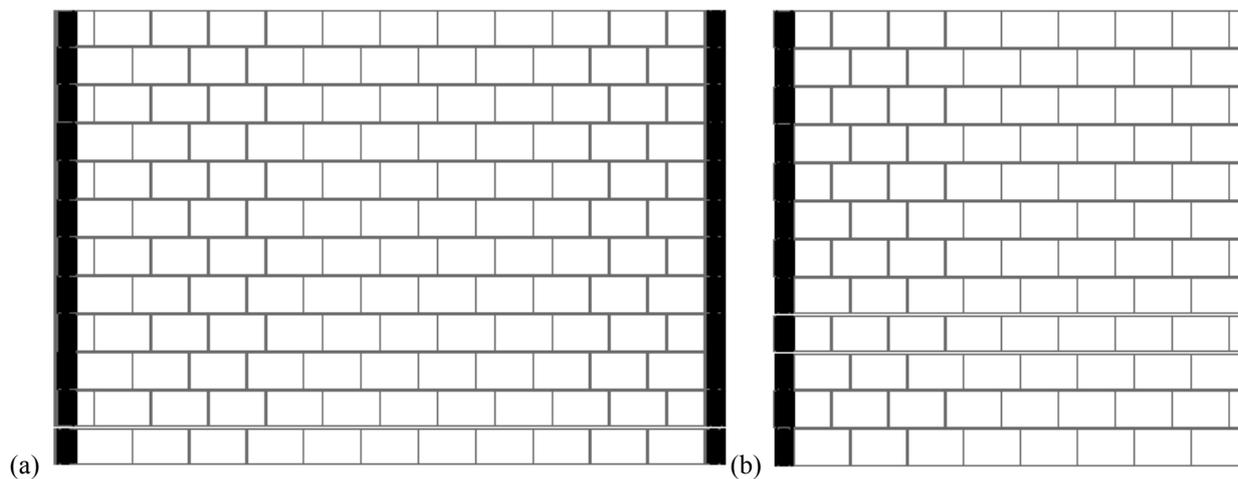
Fonte: Autor

PAREDE P04 – SEM ESCALA



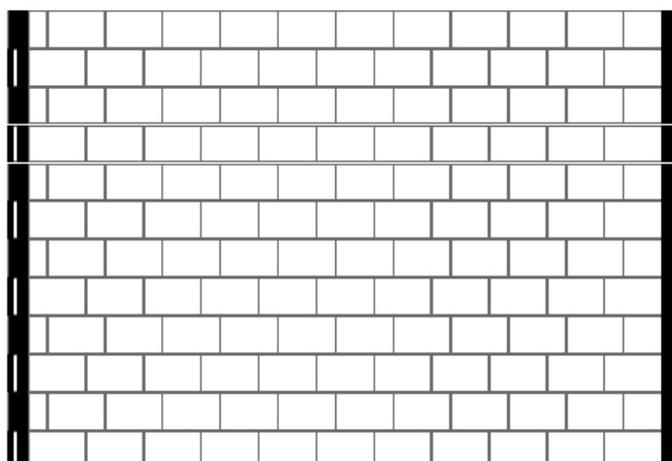
Fonte: Autor

PAREDE P05 (a) e PAREDE P06 (b) – SEM ESCALA



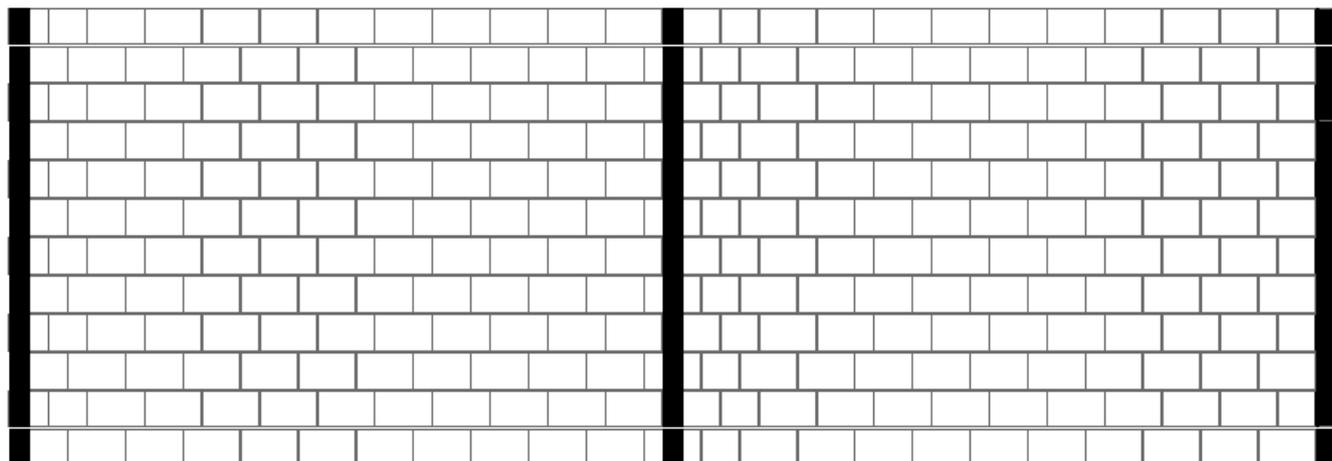
Fonte: Autor

PAREDE P07 – SEM ESCALA



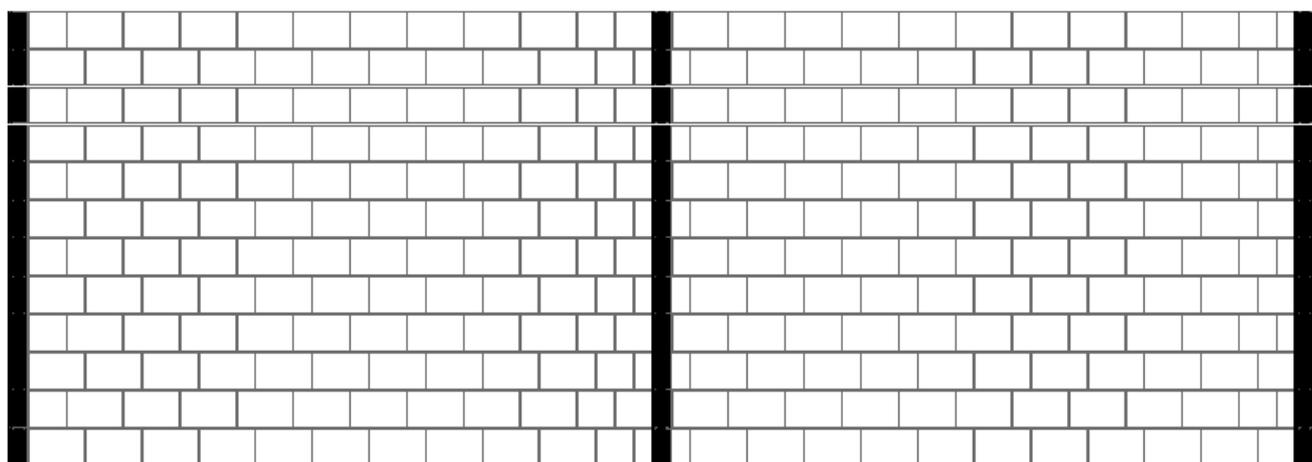
Fonte: Autor

PAREDE P08 – SEM ESCALA



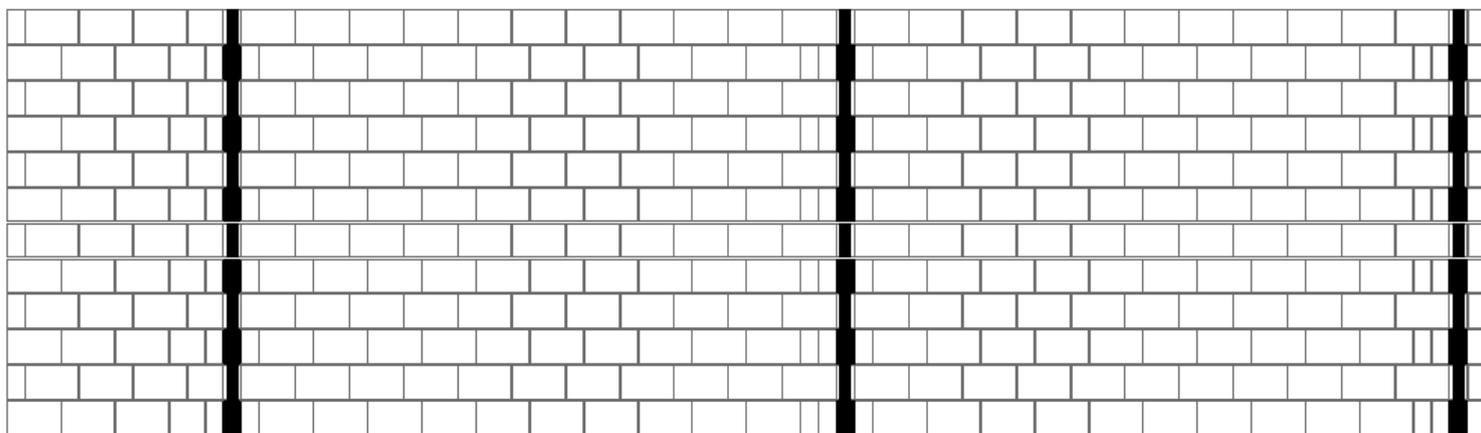
Fonte: Autor

PAREDE P09 – SEM ESCALA



Fonte: Autor

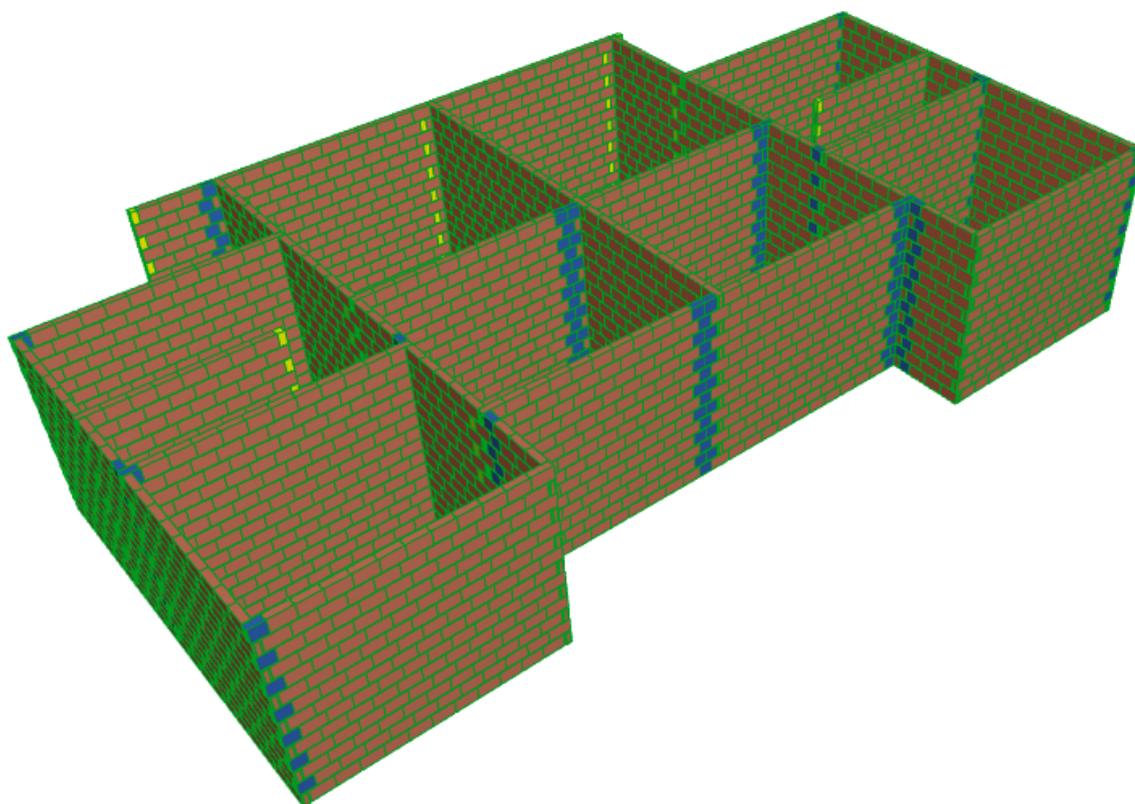
PAREDE P10 – SEM ESCALA



Fonte: Autor

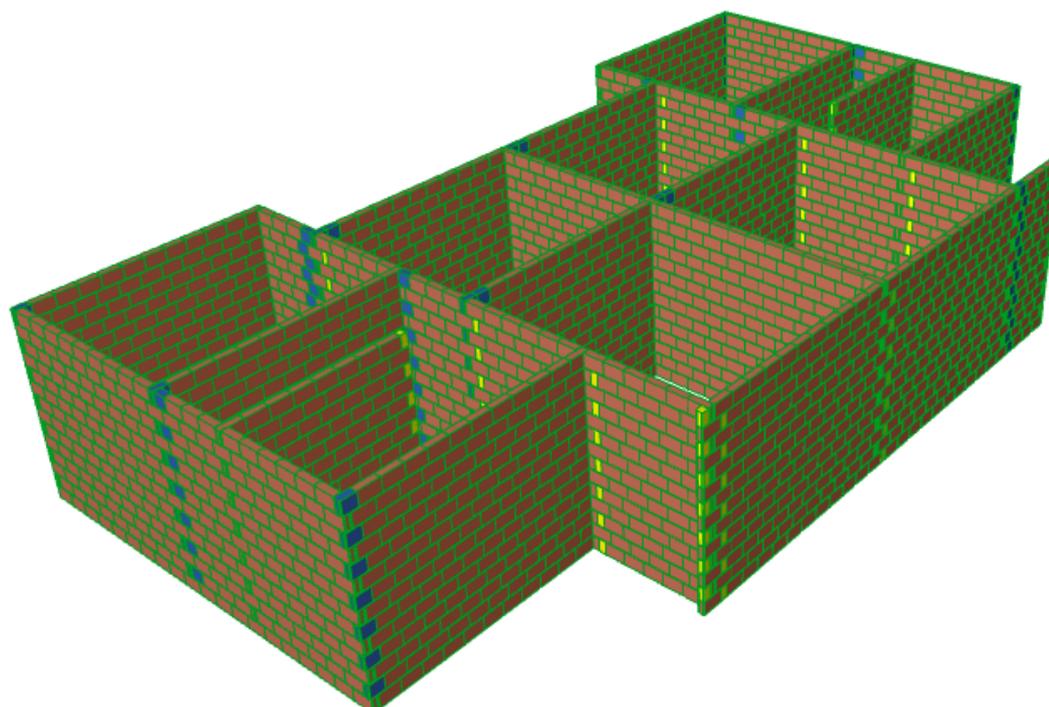
## PERSPECTIVAS

## PERSPECTIVA A – VISTA A PARTIR DA PAREDE P8



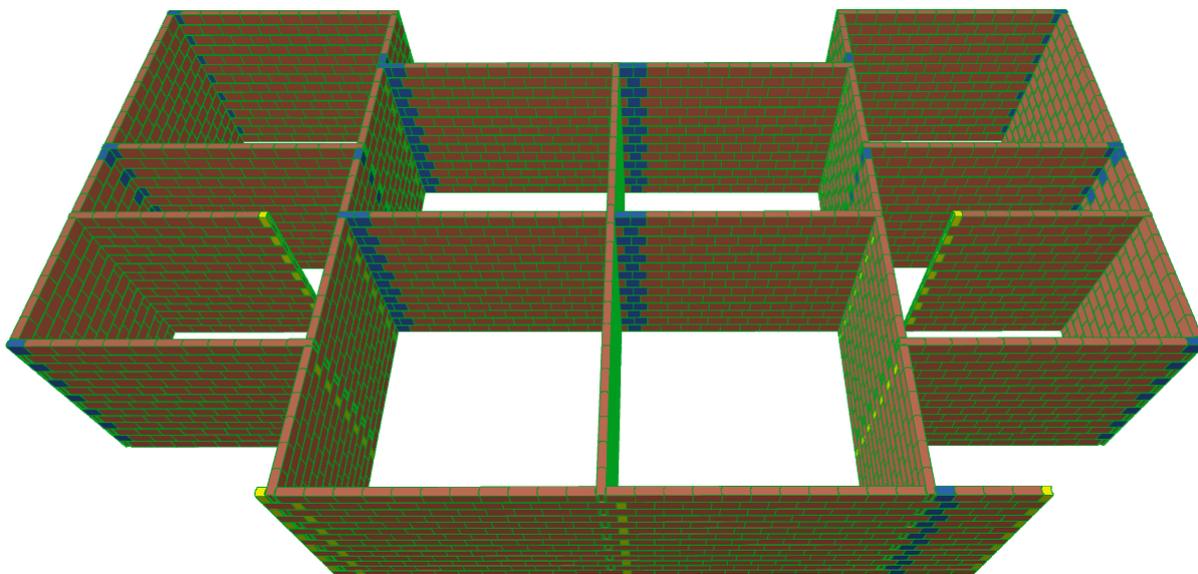
Fonte: Autor

## PERSPECTIVA B – VISTA A PARTIR DA PAREDE P10



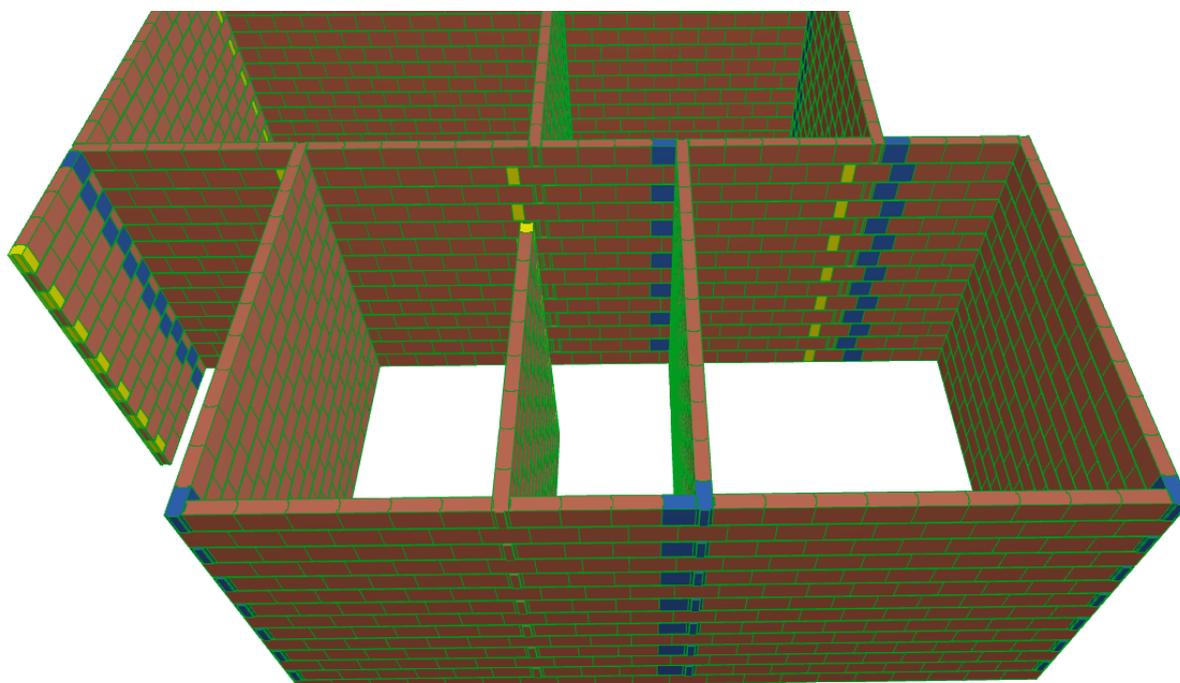
Fonte: Autor

PERSPECTIVA C – VISÃO AÉREA A PARTIR DA PAREDE P10



Fonte: Autor

PERSPECTIVA D – VISTA EM DETALHE DE UMA UNIDADE HABITACIONAL



Fonte: Autor

## ANEXOS

ANEXO A – Documentação referente à biblioteca de funções API\_WallType, utilizada para os estudos do *plug-in*.

Fonte: Graphisoft, 2011

## API\_WallType

Represents a wall element.

```
typedef struct {
  API Elem Head           head;
  short                   contPen;
  short                   contLtype;
  short                   contPen3D;
  short                   belowViewLineType;
  short                   fillPen;
  short                   fillBGPen;
  short                   fillInd;
  short                   refMat;
  short                   oppMat;
  short                   sidMat;
  short                   profileAttr;
  short                   profileType;
  GS::Bool8              useCompPens;
  GS::Bool8              useCompBGPen;
  GS::Bool8              polyCanChange;
  GS::Bool8              useCompContourLPen;
  GS::Bool8              useCompInnerLPen;
  GS::Bool8              useCompFillPen;
  GS::Bool8              filler_1[2];
  API WallTypeID        type;
  API WallDirID        dir;
  double                 top;
  double                 bottom;
  double                 thickness;
  double                 thickness1;
  double                 offset;
  double                 offset1;
  double                 logHeight;
  Int32                  beamFlags;
  API ZoneRelID        zoneRel;
  char                   info [API_InfoLen];
  short                   innerLPen;
  short                   innerLtype;
  GS::Bool8              isAutoOnStoryVisibility;
  GS::Bool8              filler_2[3];
  API StoryVisibility  visibility;
  API LinkToSettings  linkToSettings;
  API Coord           begC;
  API Coord           endC;
  API Polygon        poly;
  Int32                  rLinInd;
  Int32                  rLinEndInd;
  Int32                  refInd;
  Int32                  refEndInd;
  Int32                  oppInd;
  Int32                  oppEndInd;
}
```

```

double          angle;
API_Guid       label;
GS::Bool8      apiAutoLabel;
GS::Bool8      hasWindow;
GS::Bool8      hasDoor;
GS::Bool8      filler_3;
Int32          wallConnPriority;
GS::Bool8      useCompositePriority;
GS::Bool8      filler_4;
short          aboveViewLinePen;
short          aboveViewLineType;
short          filler_5;
API_ElemDisplayOptionsID displayOption;
API_ElemViewDepthLimitationsID viewDepthLimitation;
double         slantAlpha;
double         slantBeta;
Int32         filler_6[4];
} API_WallType;

```

## Members

### head

General element header.

### contPen

Pen attribute index of wall's contour.

### contLtype

The linetype index of wall's contour.

### contPen3D

The pen index of wall's contour in 3D.

### belowViewLineType **11**

Line type used when "OutLines Only" is selected from the "Floor Plan Display" popup. Corresponds to the "Uncut Lines" value in the Wall Settings dialog.

### fillPen

The pen index of wall's hatch OR pattern.

### fillBGPen

The pen index of wall's hatch background (0 = transparent).

### fillInd

Fill index of wall's hatch. Negative value means composite structure.

### refMat

Material index of the surface on the reference line side.

### oppMat

Material index of the opposite surface.

### sidMat

Material index of the side surfaces.

### profileAttr **10**

Attribute index of the extruded profile (0 if not profiled). See API\_ProfileAttrType.

### profileType **10**

The type of the cross section of the wall:

APISect\_Normal Simple cross section element

APISect\_Poly Profiled cross section element

APISect\_Slanted Slanted cross section element

APISect\_Trapez Trapezoid cross section element

### useCompPens

Not used.

**useCompBGPen**

Use the composite structure's background pen to draw the composite.

**polyCanChange**

The polygon wall's corners can be changed in case of L and T connections.

**useCompContourLPen** 5.1

Use the composite structure's contour line pen to draw the composite.

**useCompInnerLPen** 5.1

Use the composite structure's separator line pen to draw the composite.

**useCompFillPen** 5.1

Use the composite structure's fill pen to draw the composite.

**type**

The type of the geometry of the wall (see [API\\_WallTypeID](#)).

**dir**

The location of the reference line (see [API\\_WallDirID](#)).

**top**

The height of the wall relative to its bottom.

**bottom**

Base height of the wall relative to the floor level.

**thickness**

The thickness of the wall at the beginning point.

**thickness1**

The thickness of the wall at the end point.

**offset**

The offset of the wall's base line from reference line at the beginning point (invalid for center wall directions).

**offset1**

The offset of the wall's base line from reference line at the end point (invalid for center wall directions).

**logHeight**

The height of the log for log walls (0 means normal wall).

**beamFlags**

APIWBeam\_RefMater Apply Reference side material on horizontal edges.

APIWBeam\_OppMater Apply Opposite side material on horizontal edges.

APIWBeam\_HalfLog Start with half log.

APIWBeam\_QuadricLog Use square (quadric) logs.

APIWBeam\_AbsYZ Align texture to wall edges

APIWBeam\_Stretched The log radius is measured from the opposite side.

APIWBeam\_RightLog The logs are curved on the right side of the wall.

APIWBeam\_LeftLog The logs are curved on the left side of the wall.

**zoneRel**

Defines the wall's relation to zones (see [API\\_ZoneRelID](#)).

**info**

Some information in string form. Appears on top of the listing page of the Wall Settings dialog.

**innerLPen** 5.1

The pen attribute index of wall's separator lines.

**innerLtype** 5.1

- The linetype index of wall's separator lines.
- visibility** 10  
The option to define which stories display the wall.
- isAutoOnStoryVisibility** 10  
Recalculate the story visibility automatically according to the actual vertical extent of the wall.
- linkToSettings** 11  
Mode of linking to home story.
- begC**  
The start (beginning) coordinate of the wall.
- endC**  
The end coordinate of the wall.
- poly**  
The original outline of the wall.
- rLinInd**  
The index of the reference line beginning corner (if less than 0 then beginning edge).
- rLinEndInd**  
The index of the reference line end corner.
- refInd**  
The index of the reference material edge start.
- refEndInd**  
The index of the reference material edge end.
- oppInd**  
The index of the opposite side material edge start.
- oppEndInd**  
The index of the opposite side material edge end.
- angle**  
The rotation angle of the wall in radians.
- label** 12  
Guid of text showing ID [info] (see [API\\_Guid](#)).
- apiAutoLabel** 12
- hasWindow** 12
- hasDoor** 12
- filler\_3** 12
- wallConnPriority** 10  
The priority of the wall in 2D and 3D intersections on a 1 to 16 scale.  
Its actual values can be between 4300 and 5800; the conversion formula from the slider control value of the Wall Settings:  
$$\text{wallConnPriority} = (\text{value} + 42) * 100.$$
- useCompositePriority** 10  
For composite walls: use the priorities defined for each skin of the composite wall attribute instead of applying the uniform wall priority value set above.
- aboveViewLinePen** 10  
Pen used when "Overhead All" is selected from the "Floor Plan Display" popup.  
Corresponds to the "Overhead Line Pens" value in the Wall Settings dialog.
- aboveViewLineType** 10  
Line type used when "Overhead All" is selected from the "Floor Plan Display" popup.  
Corresponds to the "Overhead Lines" value in the Wall Settings dialog.
- displayOption** 10  
Determines how the wall appears on the floor plan.

**viewDepthLimitation** 10

Determines which part of the wall is visible for multi-story walls.

**slantAlpha** 10

Defines the angle for slanted and double slanted walls.

**slantBeta** 10

Defines the angle for double slanted walls.

**Remarks**

For wall related memo data see the [ACAPI\\_Element\\_GetMemo](#) function.

**Requirements**

**Version:** API 2.1 or later

**Header:** APIdefs\_Elements.h

## ANEXO B – Documentação referente à biblioteca de funções `API_WallRelation`, utilizada para os estudos do *plug-in*.

Fonte: Graphisoft, 2011

### `API_WallRelation`

Structure for retrieving connection data of a wall.

```
typedef struct {
    API_Coord          API_Coord          **coords;
    Int32             Int32             **pends;
    API_PolyArc      API_PolyArc       **parcs;
    Int32             Int32             filler_1;
    API_Polygon      API_Polygon       connPoly;
    API_ConnectionGuidItem API_ConnectionGuidItem **conBeg;
    API_ConnectionGuidItem API_ConnectionGuidItem **conEnd;
    API_ConnectionGuidItem API_ConnectionGuidItem **conRef;
    API_ConnectionGuidItem API_ConnectionGuidItem **con;
    API_ConnectionGuidItem API_ConnectionGuidItem **conX;
    Int32             Int32             filler_2[5];
    Int32             Int32             nConBeg;
    Int32             Int32             nConEnd;
    Int32             Int32             nConRef;
    Int32             Int32             nCon;
    Int32             Int32             nConX;
    Int32             Int32             filler_3[5];
} API_WallRelation;
```

#### Members

##### **coords**

Coordinates of the modified outline polygon

##### **pends**

Indices of the end coordinates of the subpolygons

##### **parcs**

Arc segments of the modified outline polygon

##### **connPoly**

Modified outline polygon due to the connections

##### **conBeg**

List of walls connected to the beginning point of the wall with their beginning or end point (see [figure](#)).

##### **conEnd**

List of walls connected to the end point of the wall with their beginning or end point (see [figure](#)).

##### **conRef**

List of walls connected with their reference line to the beginning or the end point of the wall (see [figure](#)).

##### **con**

List of walls connected to the reference line of the wall not at the endpoints (see [figure](#))

**conX**

List of walls having intersection with the reference line of the wall (available from 2.1)

**nConBeg**

Number of conBeg indices

**nConEnd**

Number of conEnd indices

**nConRef**

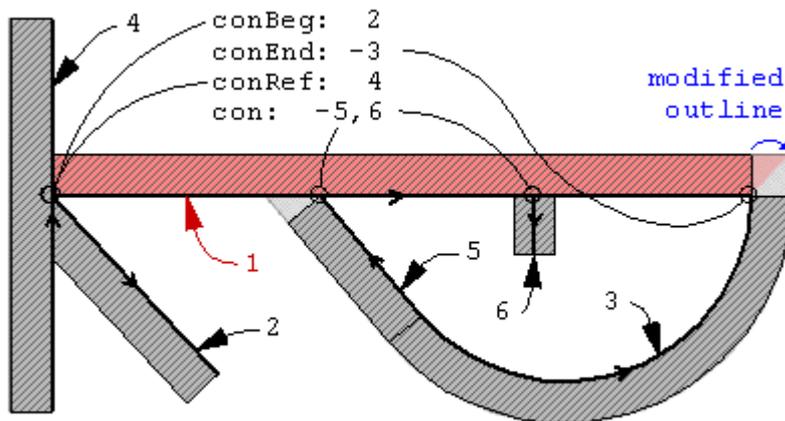
Number of conRef indices

**nCon**

Number of con indices

**nConX**

Number of conX indices (available from 2.1)

**Explanatory figure for wall relation cases****Remarks**

To learn more about the usage of the wall relation structure please refer to the [ACAPI\\_Element\\_GetRelations](#) function.

**Requirements**

**Version:** API 1.3 or later

**Header:** APIdefs\_Elements.h