



AVALIAÇÃO DOS LIMITES DE AUTOMAÇÃO DO PROJETO DE ALVENARIA ¹

PINHEIRO, Levi Teixeira

Instituto Federal do Ceará, levi.teixeira@terramambiente.com.br

BERTINI, Alexandre Araújo

Universidade Federal do Ceará, alexandre.bertini@gmail.com

CARDOSO, Daniel Ribeiro

Universidade Federal do Ceará, daniel.br@mac.com

RESUMO

A presente pesquisa se propõe a averiguar os limites de automação do projeto de produção de alvenaria vedações verticais (PPVA), a partir do método de comportamento do objeto paramétrico ou *building object behavior (BOB) method*, que tem como estratégia de pesquisa o *constructive research*. Os limites são avaliados ao submetemos o PPVA a novos níveis e funções de automação de design ainda não experimentados, no caso a reordenação automática da paginação de paredes, após alguma modificação do projeto arquitetônico. O processo de desenvolvimento da pesquisa se dá em quatro etapas: fase de elucidação, fase de design, fase de validação e implementação. Ao fim da pesquisa desenvolveu-se um artefato na forma diagrama de atividades que servirá de base para criação de plug in aplicável em qualquer plataforma de paramétrica, no caso plataformas BIM.

Palavras chaves: BIM, projeto de alvenaria, automação do design.

ABSTRACT

The present research propose investigate the automation limits of project of vertical sealing masonry production, from the building object behavior (BOB) description notation and method, that have research strategic the constructive research. The limits are available in the set moment when we submits the project of masonry new steps e functions of design automation yet not experiment, in case a automation reordering of masonry pagination, after any modification of architecture project. The research development process takes place in four stages: elicitation phase, design phase, validation and implementation phase. The finish of the research it developed an artifact in the form of activity diagram that serve as the basis for creating plug-in applicable in any parametric platform, where BIM platforms.

Key words: BIM, masonry design, design automation

1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira apresenta graves problemas no método e na forma de produção por ser um processo construtivo ainda muito artesanal e possuir falhas no fluxo de informações ADDOR (2010). Logo, Monteiro et al

¹ Trabalho apresentado no IV SBQP 2015. Universidade Federal de Viçosa.
Disponível em: [doi> http://dx.doi.org/10.18540/2176-4549.6046](http://dx.doi.org/10.18540/2176-4549.6046)

(2009) apontam a industrialização e a racionalização como meios de otimizar o processo construtivo, através do PVVA. Já a falha no fluxo de informações pode ser solucionada com a adoção do sistema BIM (MULLER ET AL, 2010). O PPVA foi introduzido no mercado brasileiro em meados da década de 1980 (SILVA, 2003) e visa otimizar a compatibilização da alvenaria com os diversos subsistemas que interagem com ele, como instalações e estruturas. O BIM tem como base as tecnologias de parametrização (FERREIRA ET SANTOS, 2008), que por meio de objetos paramétricos, permitem o gerenciamento e ordenamento de dados aplicados às fases de ciclo de vida de um edifício (SUCCAR, 2010). Assim partir dessas ferramentas o sistema permite com facilidade identificar as incompatibilidades de projetos, extrair quantitativos automáticos e gerar instanciações do modelo 2D e 3D (ARAYICI ET AL, 2011). Segundo, Sacks et al (2004), os softwares BIM por não atenderem as necessidades específicas de cada projetista, permitem a sua customização. Em nível internacional e nacional verifica-se a produção de trabalhos de customização de plataformas para automação de projetos alvenaria, que deixaram algumas lacunas. Assim, a presente pesquisa tem como objetivo verificar os limites de automação do projeto de alvenaria, utilizando-se do método BOB. Ao fim da pesquisa geramos um artefato, na forma de um diagrama aplicável em qualquer plataforma BIM, onde mesmo foi submetido a níveis ainda não aplicados para o projeto de alvenaria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em nível internacional, a área de automação de design, tem-se o convênio *Concrete Software Consortium (PCSC)* entre empresas norte americanas de concreto armado e universidades como Georgia Institute, norte americana, e Israel Institute of Technology, israelita, denominado Precast no período de 2001 a 2004, que gerou teorias métodos sobre de automação do design como *building object behavior (BOB) description notation and method* e o *Georgia Tech Process to Product Modeling (GTPPM)* (LEE ET AL, 2005). Dentre os pesquisadores envolvidos destacam-se Rafael Sacks, Charles Eastman e Chang Lee, os dois primeiros foram responsáveis pelo livro *BIM Hand Book*, publicado em 2005, documento que compila estado da arte do BIM e se apresenta com um guia para sua implementação (EASTMAN ET AL, 2008). Além dos trabalhos de Cavieres et al (2009), que aplicou o métodos BOB na automação de projetos de alvenaria estrutural. Em nível nacional a customização de softwares BIM teve uma produção relevante entre 2005 e 2010, porém poucos se destacam na área de automação de design no caso Ayres (2009) Monteiro (2011) (CHECCUCCI ET AL, 2011). Após este período tem-se Romcy (2012). Trabalhos desenvolvidos de forma independente, em universidades distintas, que abordam a automação de sistemas construtivos modulares, tendo como base gramática da forma e modelagem paramétrica.

A gramática da forma surgiu como sistema de geração de formas por meio de regras de composição. O sistema foi aplicado inicialmente à pintura e escultura e a posteriori a arquitetura (CELANI ET AL, 2007). Porém, as tecnologias atuais de modelagem paramétrica permitem uma melhor ligação entre funcionalidade do projeto e da geometria do que a gramática da forma (CAVIERES, 2009). A modelagem paramétrica é uma representação computacional de um objeto virtual construído a partir de atributos podem ser fixos, que não sofrem modificações ou variáveis, que são representadas por meio de parâmetros e regras, de forma a permitir que objetos sejam automaticamente ajustados de acordo com a mudança de contexto

(ANDRADE ET RUSCHEL, 2009a). Logo, se compreende que os objetos têm de ser modelado, não só pela forma geométrica, mas como unidades de informação. Há três níveis de automação para um objeto paramétrico. O primeiro é o projeto de peças e conexões, que consiste na geração automática de peças e suas conexões a partir da alimentação de parâmetros. Depois decomposição edilícia em camadas agrupadas, que consiste em uma correção automática do objeto quando é alterado algum parâmetro. Por fim, geração de layout baseado no conhecimento, onde um sistema construtivo, como paginação de alvenaria ou a estrutura de um edifício podem ser gerados automaticamente após serem alimentados por parâmetros (SACKS ET AL, 2004).

3 MÉTODO

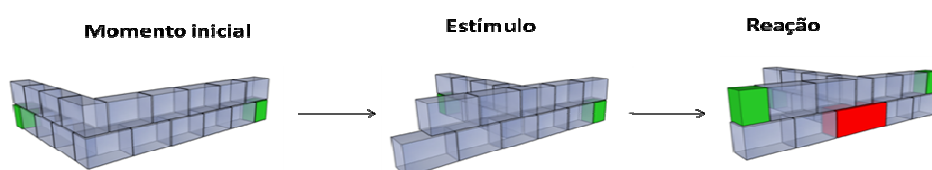
A pesquisa utilizou o método *BOB* desenvolvido por Lee et al (2005), enquadrado na estratégia de pesquisa *constructive research*, que diferente da ciência convencional não se propõe a descobrir algo novo, e sim, a se produzir algo novo. No caso um artefato que visa resolver problemas do mundo real, cuja contribuição teórica ocorre a partir de sua aplicação. Dentre artefatos que podem ser produzidos tem-se: modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e desing de sistemas de informação (LUKKA, 2003). A pesquisa será desenvolvida em quatro etapas. Iniciando pela fase de elucidação que consiste na definição do sistema construtivo e da proposta de automação. Em seguida fase de design, onde são identificados os parâmetros, restrições e padrões mínimos do sistema. Na terceira, a fase de validação os padrões são simulados em script na plataforma no Archicad 18, o ideal seria por meio de um plug in, porém, não houve a presença de programadores na pesquisa. Por fim, a fase de tradução, onde são elaborados diagramas de atividades na linguagem UML, os quais não precisam ser desenvolvidos em linguagem de programação (BOOCH ET AL, 2000). Os diagramas servirão para gerar um plug in aplicável em plataformas BIM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fase de elucidação

O objeto paramétrico escolhido para ser automatizado foi sistema construtivo alvenaria racionalizada de amarração $\frac{1}{2}$, que possui como componentes principais blocos cerâmicos ou de concreto e juntas de argamassa. A função escolhida para sua automação foi o reordenamento automático paginação após o deslocamento de uma parede sobre a outra (ver figura 01), sem considerar a presença de esquadrias. A função escolhida se enquadra no nível de automação decomposição edilícia.

Figura 01- Comportamento do objeto paramétrico



Fonte: autor

4.2 Fase de Design

Durante esta fase foram analisadas as restrições, parâmetros e identificados os padrões de comportamento das paredes e seus componentes.

a) Restrições e parâmetros

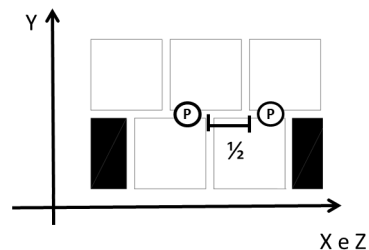
O sistema construtivo escolhido é modular, pois os seus componentes possuem dimensões múltiplas de um módulo M , no caso, adotamos $M= 15\text{cm}$. Para todos os componentes a altura e o comprimento podem assumir qualquer valor múltiplo do módulo, mas a sua espessura é fixa, possuindo valor igual ao módulo. As alvenarias assumem qualquer valor múltiplo de " M ". Porém, blocos por possuírem dimensões fixas, se dividem em três tipos o bloco principal com a dimensão de $2M$ e blocos complementares de $1M$ e de $3M$ (ver figura 02). Quando distribuimos os blocos da primeira fiada de uma parede, eles devem de posicionar com os seus comprimentos paralelos ao chão e os blocos adjacentes na mesma fiada devem ser encaixados pela espessura. Já os blocos da fiada superior devem ser encaixados sobre a metade do inferior evitando juntas coincidentes (ver figura 03).

Figura 02- Tipos de blocos



Fonte: Désir

Figura 03 – Paginação da parede

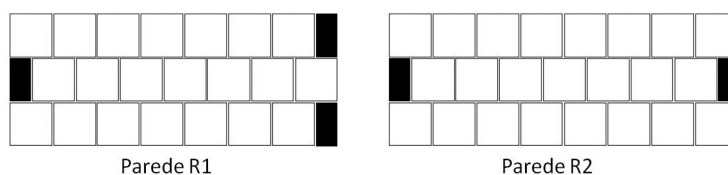


Fonte: Próprio autor

b) Identificação de padrões de comportamento

Os padrões foram identificados a partir nas restrições descritas. Assim, ao observamos comportamento de uma parede paginada a partir de suas dimensões extraímos os seguintes os padrões: R1R1 – Quando a parede se inicia e termina com um bloco de $1M$, R1R2 – Quando a parede se inicia com $1M$ e termina com $2M$, R2R1 – Quando a parede se inicia com $2M$ e termina com $1M$, R2R2 – Quando a parede se inicia e termina com $2M$ (ver figura 04).

Figura 04 – Parede R2R1 e R2R2

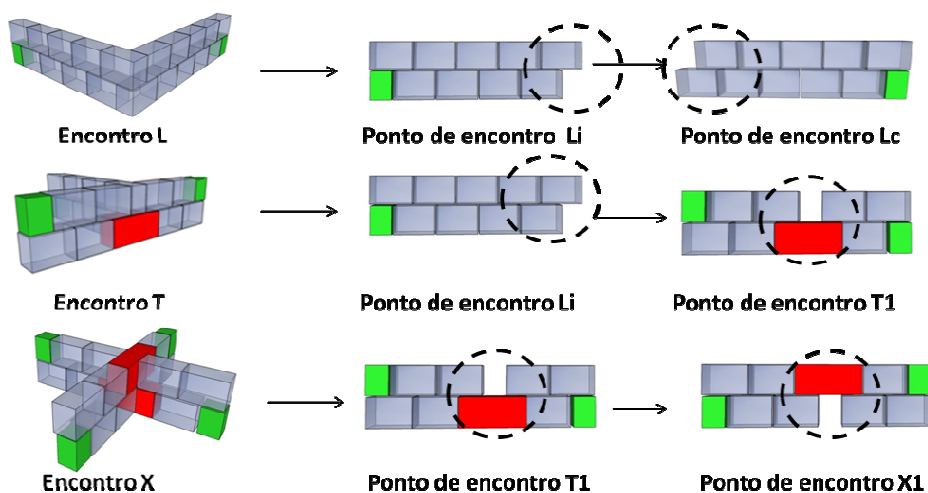


Fonte: Adaptado de Romcy (2012)

Vitaló et Franco (2000) identificaram três padrões de encontro de paredes: L, T e X (VITALÓ ET FRANCO, 2000). Ao observarmos com detalhes deduzimos que para cada tipo de encontro existem dois tipos de paredes e para cada tipo

de parede dois ou mais pontos de encontro. Logo, deduz que o encontro “L” possui as possibilidades Lc e Li; “T” possui T1 e Li e “X” possui T1 e X1. (ver figura 05).

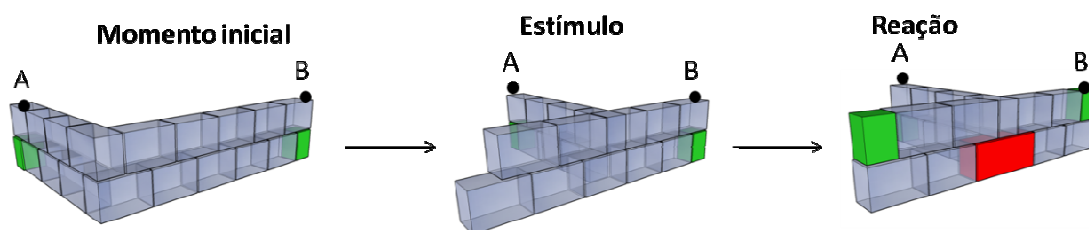
Figura 05 – Pontos de encontros



Fonte: Próprio autor

Ao somarmos todas as restrições de translação aos pontos de encontros entre paredes e as possibilidades de deslocamento das paredes identificam-se dois tipos de padrões para cada encontro: deslocamento para um ponto não extremo, denominado Ce e deslocamento para um extremo, nomeada de Ex. Quando analisamos mais detalhadamente o comportamento de cada parede pode-se perceber que elas sofrem transformações, que ocorrem devido à necessidade de reajustar as amarrações entre as mesmas após o deslocamento. No caso consideramos dois tipos de paredes uma deslocada (A) e outra fixa (b) (ver figura 06).

FIGURA 06 – Transformação de paredes após o deslocamento tipo Ce



Fonte: Próprio autor

Com intuito de organizar os padrões, estes foram nomeados a partir da parede fixa (B) e do tipo de deslocamento que ocorre sobre a mesma, que podem ser do tipo Ce ou Ex. Como se observa o exemplo acima (ver figura 06): uma parede Li se desloca sobre uma parede Lc para um ponto não extremo (Ce), logo, esse padrão será denominado de LcCe. Assim definimos os padrões: LiCe, T1Ce, X1Ce, LiEx, LcEx, T1Ex e X1Ex.

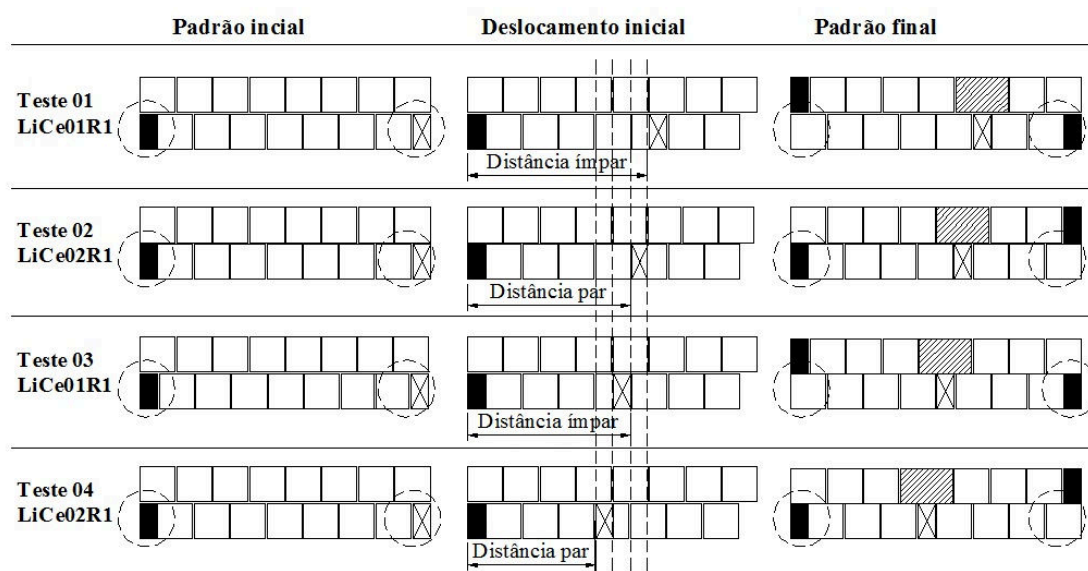
4.3 Fase de Validação

Durante esta etapa os padrões foram modelados e submetidos a testes dentro do software Archicad 18, a nível de *script*, onde foram simuladas diversas situações. Os modelos desenvolvidos possuem representações tridimensionais

e bidimensionais, para expor os resultados, optamos pela forma bidimensional, pois permite uma visualização mais objetiva e clara. Sobre cada padrão apresentado fora realizado dois ou mais testes. O primeiro foi de reconhecimento do comportamento, os restantes foram de validação. O comportamento é validado quando o mesmo se repete, pois a sua tendência de todo padrão é de se repetir ao longo de todos os testes que apresentem situações similares. Os testes foram divididos em duas categorias: Ce e Ex.

Na categoria Ce, o primeiro teste consiste em deslocar uma parede sobre a outra em uma distância mínima "d" correspondente ao módulo "M". Os testes seguintes consistem em deslocá-la em distâncias múltiplas ($X \times M$, sendo X um número inteiro do módulo) quantas vezes forem necessárias para que o padrão se repita. Assim, no primeiro teste, será $d = X \times M$, o segundo, $d = X \times M + M$ e assim sucessivamente. Após os testes realizados com os padrões LiCe e LcCe observamos 03 padrões distintos: Ce1, quando o deslocamento for ímpar e Ce2, quando o deslocamento for par (ver figura 07).

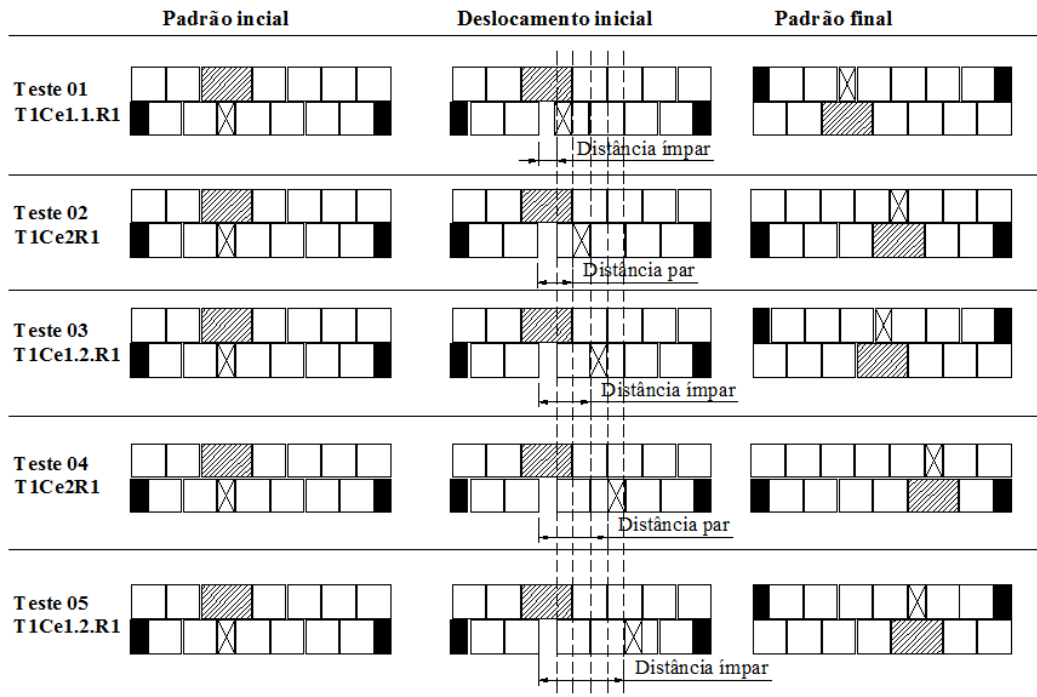
Figura 07 – Teste Ce



Fonte: Próprio autor

Com os testes realizados pelos padrões T1 e X1 observamos a existência de 03 padrões, distintos: Ce1.1, quando o deslocamento corresponder ao valor de um módulo, Ce1.2., quando o deslocamento foi ímpar, excluído o valor de um módulo e Ce2, quando o deslocamento for par (ver figura 08). A subdivisão do padrão Ce1.1. e Ce1.2. é necessária porque os algoritmos são distintos apesar de gerarem reações iguais.

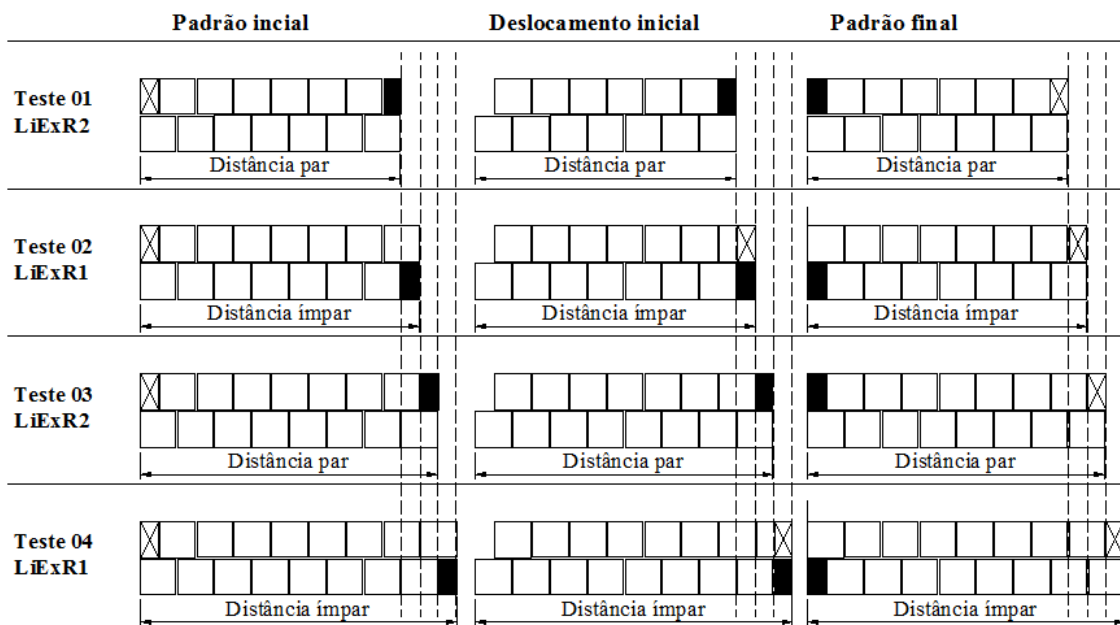
FIGURA 08 – Testes - Padrão T1CeR1



Fonte: Autor

No deslocamento do tipo Ex, o primeiro teste consiste em deslocar uma parede sobre a outra até um de seus pontos extremos. Os testes sequenciais deve-se realizar o mesmo deslocamento, porém, ampliando o comprimento da parede fixa (Cp) no valor de um módulo (1M) quantas vezes forem necessárias da seguinte forma: primeiro teste $C_p = X \cdot M$ segundo teste $C_p = X \cdot M + 1M$, terceiro teste $C_p = X \cdot M + 2M$ até o padrão se repetir (ver figura 09). Com a realização dos testes percebe-se que os padrões Ex variam entre os tipos R1 e R2 para qualquer encontro, seja Li, Lc, T1 ou X1.

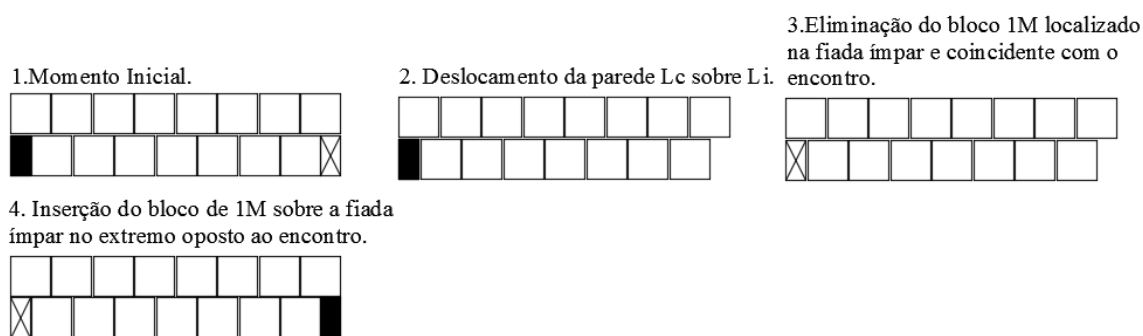
FIGURA 09 – Testes - Padrão LiEX



Fonte: Autor

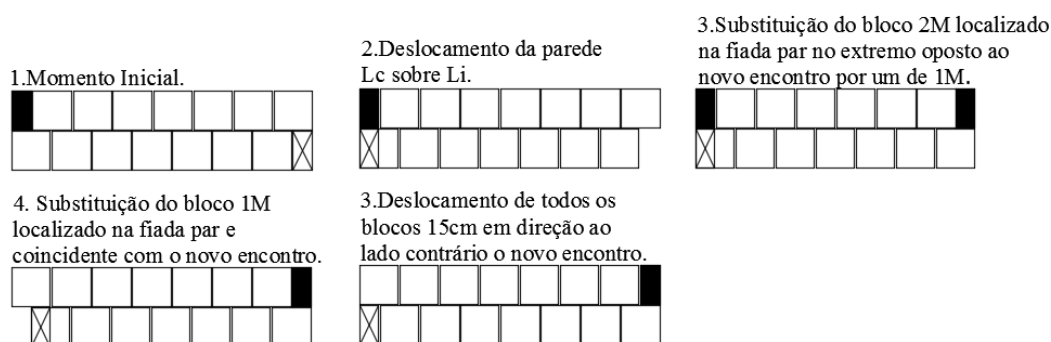
Durante cada simulação foi registrado o passo a passo das ações necessárias para a transformação do padrão inicial no padrão final (ver figura 10).

FIGURA 10 – Simulação - Padrão LiExR1



Fonte: Autor

FIGURA 11 – Simulação - Padrão LiExR2

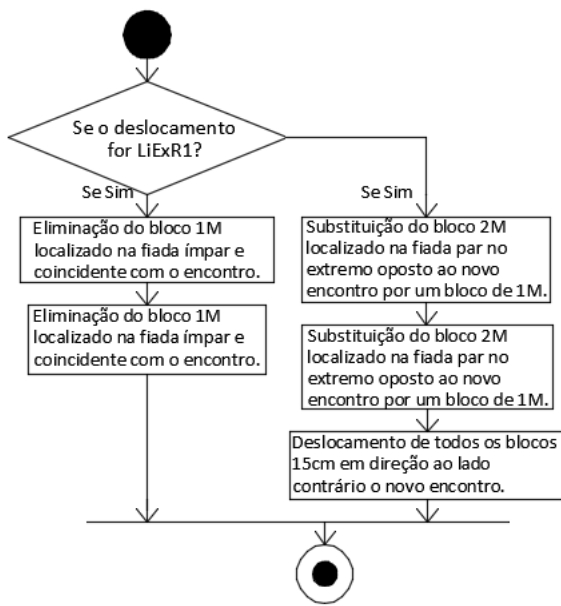


Fonte: Autor

4.4 Fase de Tradução

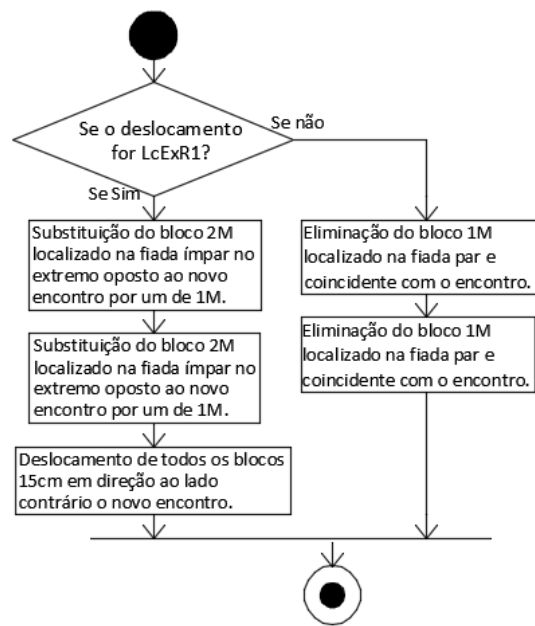
Durante a fase de tradução os padrões identificados na fase anterior foram traduzidos na forma de diagramas. Os mesmos foram gerados ao compararmos os conjuntos de ações padrões similares com padrões similares, por exemplo, LiExR1 e LiExR2 (ver figura 11 e 12) geraram os diagramas LiEx (figura 12). Já os padrões LcExR1 e LcEx geraram diagrama o LcEx (ver figura 13). Por ambos pertencerem ao encontro "L" e a categoria Ex possuem desenhos similares, o que pode ser observado em outros diagramas a seguir.

Figura 12 - Diagrama LiEx



Fonte Próprio Autor

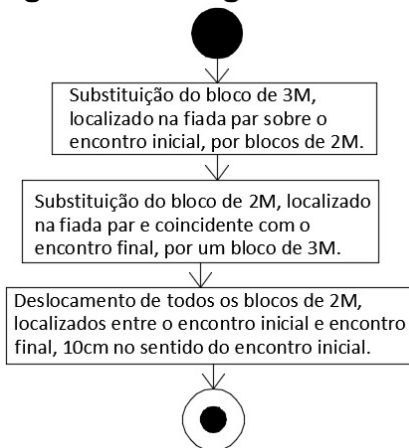
Figura 13 - Diagrama LcEx



Fonte Próprio Autor

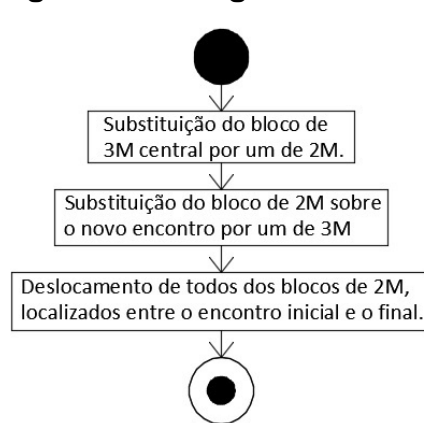
Aos observamos o comportamento diagramas como T1Ce2, gerados a partir dos padrões R1T1CeR1, R1T1CeR2, R2T1CeR1, R2T1CeR2 e X1Ce2 os padrões X1Ce2, gerados a partir dos padrões R1X1CeR1, R1X1CeR2, R2X1CeR1 e R2X1CeR2, obteve-se uma situação curiosa: em ambos os casos nota-se um único fluxo de ações, pois mesmo os padrões tendo reações distintas suas ações foram iguais (ver figura 14 e 15).

Figura 14 - Diagrama T1Ce2



Fonte Próprio Autor

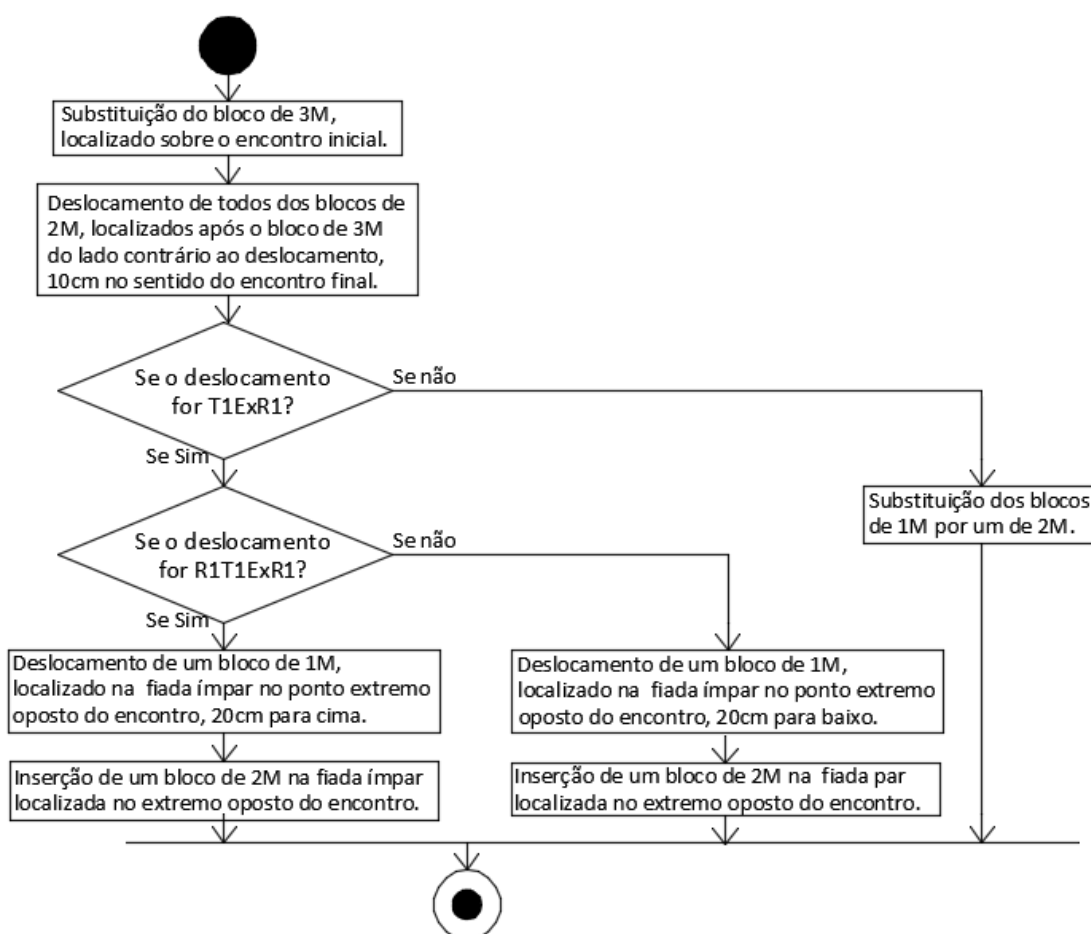
Figura 15 - Diagrama X1Ce2



Fonte Próprio Autor

Além desses tipos de diagramas tem-se um tipo mais recorrente válidos para todos os outros padrões sejam LiCe, LcCe, T1Ce e T2Ce, que seria o diagrama abaixo, cujo ações por vezes geram fluxos comuns ou se separaram para geram caminhos distintos, podendo se unir em outro ponto do diagrama (ver figura 16).

Figura 14 - Diagrama T1Ex



Fonte Próprio Autor

5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do artefato podemos comprovar que, apesar de sua variedade e complexidade de padrões, é possível gerar a automação do PPVA no nível automação decomposição edílica. Além de validarmos a eficiência do método BOB e a importância de inserirmos a simulação em script como ferramenta do mesmo.

Ao compararmos o processo e o resultado de nossos experimentos com os trabalhos desenvolvidos por Romcy (2012), Monteiro (2011) e Cavieres (2011) nota-se que há um maior grau de clareza e objetividade no nosso trabalho e no trabalho de Cavieres. Em ambos utiliza-se o método BOB.

Já em termos de limites de automação podemos comparar a diversidade de padrões necessários para gerar a automação da função escolhida em relação especificamente a trabalho de Romcy (2012) e Monteiro (2011), onde a automação também foi desenvolvida em relação aos encontros de paredes, mas em nível diferente. No nosso trabalho, nota-se a maior complexidade e diversidade padrões para cada automatização de padrão ao nível de automação escolhido. Porém, não se pode comparar em termos de fluxos de ações e diagramas, pois os mesmos não foram expostos nos trabalhos dos pesquisadores em questão. Assim, ao observarmos os diagramas desenvolvidos, notamos detalhes curiosos sobre os padrões analisados, como por exemplo: na fase de validação percebemos que padrões com estímulos e

reações iguais podem gerar fluxo de ações diferentes. Já na fase de tradução, nota-se a existência de padrões com estímulos e reação diferentes que podem gerar fluxo de ações iguais (ver figura 14 e 15). Assim, pode-se concluir que na fase de tradução alguns padrões quando aplicados em diagramas revelam a possibilidade simplificação dos mesmos.

Por fim, quanto à simulação em *script* verificamos que a mesma pode servir como um incremento do método *BOB*, pois ajudou no desenvolvimento de diagramas mais precisos. Porém, é uma ferramenta muito dispendiosa em termo de tempo. Logo, recomenda-se em trabalhos futuros, que possuam programadores na equipe, a utilização desta ferramenta, não para todos os padrões, mas sim para os principais.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a FINEP pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

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. **Anais...** São Carlos, 2009a.

ARAYICI, Y, Coates, P, KOSKELA, L, KAGIOGLU, M, USHER, C, OReily. K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**, n. 20 (2), p.189-195, 2011.

ADDOR, M. R. A. Colocando o "i" no BIM. **Arq.Urb.** USJT, N. 4, 2010.

AYRES, C. **Acesso ao modelo integrado do edifício**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BOOCH, G., RUMBAUGH, J., JACOBSON, I. **UML: guia do usuário**. Editora, Campus, 2000.

CAVIERES, A., Gentry, R., Al-Haddad, T. Rich Knowledge Parametric Tools for Concrete Masonry Design: Automation of Preliminary Structural Analysis, Detailing and Specifications. 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). **Anais...** Austin, jun. 2009.

CELANI, G. et al. A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. **Conexao**, v. 5, p. 15-20, Caxias do Sul, 2007.

CHECCUCCI, E. S., PEREIRA, A. P. C., AMORIM, A. L. A difusão das tecnologias BIM por pesquisadores do Brasil. In: V TIC. **Anais...** Salvador, ago. 2011.

DÉSIR, J. M. D. **Alvenaria Estrutural**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/blocos_ceramicos.php>. Acesso em: 20 mar. 2015.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R, LISTON, K. **BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

FERREIRA, R. C., SANTOS, E. T. **Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edifícios**. 2007. 159 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEE, G., SACKS, R., EASTMAN, C.M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a Building Information Modeling System. **Automation in Construction**, n. 15, p. 19, 2005.

LUKKA, K. The constructive research approach. In: Ojala, L. & Hilmola, O-P. (eds.) **Case study research in logistics**. Turku: Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B1: 2003.

MONTEIRO, A., FERREIRA, R. C. S., TOLEDO, E. **Paradigmas de Representação de Modulação de Alvenarias em Ferramentas BIM**. In: Gestão & Tecnologia de Projetos. v. 4, n. 2., São Paulo, 2009.

MONTEIRO, A. **Projeto para produção de vedações verticais em alvenaria em uma ferramenta CAD-BIM**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.

MULLER, A. L. **Informações para placas cerâmicas de revestimento segundo a abordagem BIM**. 2010. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SACKS, R., EASTMAN, C.M., Lee, G., Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. **Automation in Construction**. n. 13, p. 21, 2004.

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

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**. n. 18, p. 357–375, 2009.

ROMCY, N. M. S. **Proposta de tradução dos princípios da coordenação modular em parâmetros aplicáveis ao building information modeling**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

VILATÓ, R. R., FRANCO, L. S. **Racionalização do projeto de edifícios em alvenaria estrutural**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.