



## Coordenação Modular e BIM: contribuições a partir do estudo do Edifício E1 da Escola de Engenharia de São Carlos

*Modular Coordination and BIM: contributions from the study of the E1 Building of the School of Engineering of São Carlos*

Beatriz Campos Fialho\*, Heliara Aparecida Costa\*\* e Márcio Minto Fabricio\*\*\*

\*Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Viçosa (2009) e mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Minas Gerais (2012). Ocupa o cargo de arquiteta e urbanista do Departamento de Projetos da UFMG desde 2012. Atualmente é doutoranda no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP. Atua na área de gestão e projeto de arquitetura.

\*\*Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Mato Grosso (2011) e mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental pela mesma instituição (2015). Atualmente é doutoranda no Instituto de

Arquitetura e Urbanismo da USP. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em flexibilidade de projeto e tecnologias Building Information Modeling (BIM).

\*\*\* Livre-Docente em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (2008) e professor da graduação e pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Atua nas áreas de Arquitetura e construção, com ênfase em Gestão e Tecnologia de Projetos; Projeto Paramétrico; Industrialização da Construção e Sistemas Construtivos Inovadores.

### Resumo

A introdução de inovações tecnológicas e a integração dos agentes da cadeia produtiva têm importante papel no avanço da indústria da construção civil. Nesse contexto, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) e a Coordenação Modular constituem instrumentos potenciais para tornar o processo produtivo mais racional e sustentável. Este estudo tem por objetivo identificar as contribuições do BIM para aplicação dos princípios de Coordenação Modular em componentes de edifícios, a partir da modelagem da esquadria do Edifício E1 da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, em São Carlos/SP. Para tanto, a pesquisa foi estruturada em cinco etapas: (1) Compreensão do tema, a partir da Revisão de Literatura e Análise Documental do projeto do edifício E1; (2) Levantamento de campo, por meio de visita ao edifício; (3) Modelagem da esquadria em software BIM; (4) Avaliação do modelo, com verificação dos princípios da Coordenação Modular; (5) Sistematização dos resultados e conclusões. A partir dessa experiência, verificou-se que o BIM possibilita o desenvolvimento de projeto de componentes modulares com maior eficiência e confiabilidade, devido a fatores como aumento da capacidade de visualização de informações e verificação de interferências, modelagem com alto nível de precisão dimensional e automatização da distribuição dos componentes. **Palavras-chave:** Modelagem da Informação da Construção. Coordenação Modular. Componentes BIM. Sistema de Janela Cortina.

### Abstract

The introduction of technological innovations and the integration of the stakeholders of the productive chain are important for the advancement of the construction industry. In this context, Building Information Modelling (BIM) and Modular Coordination are potential tools to make the productive process more rational and sustainable. This study aims to identify the contributions of BIM to the application of Modular Coordination principles in building components based on the modeling of the E1 Building at the School of Engineering of the University of São Paulo in São Carlos/SP. Therefore, the research was structured in five steps: 1. Understanding the theme, with the Literature Review and Documentary Analysis of the E1 building project; 2. Field survey, by means of a visit to the building; 3. Window modeling in BIM software; 4. Evaluation of the model, with verification of the principles of Modular Coordination; 5. Systematization of results and conclusions. From this experience, it was verified that BIM allows the development of modular components design with greater efficiency and reliability, due to factors such as increased information visualization and interference verification, high dimensional precision modeling and automation of the distribution of the components.

**Keywords:** Building Information Modeling. Modular Coordination. BIM Components. Window Wall System.

## Introdução

**A** indústria da construção civil brasileira enfrenta o desafio de aprimorar seus produtos e processos no sentido de uma prática mais sustentável, com redução de perdas e aumento de produtividade, qualidade e segurança aos usuários. O caminho para superação do estigma do atraso passa pela racionalização da construção, amparada na introdução de inovações tecnológicas e na maior integração dos agentes da cadeia produtiva em todas as fases do ciclo de vida do edifício (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Embora o tema seja atual, as discussões sobre a aplicação de instrumentos para racionalização da construção permeiam a academia e o mercado brasileiro desde o século XX. Bruna (1976) avaliou que o processo de industrialização da construção deveria ser conduzido dentro de um quadro de políticas públicas centrado no desenvolvimento tecnológico, possuindo como condição essencial a adoção de um sistema de coordenação mo-

dular enquanto fundamento para a normalização dos elementos e componentes da construção e racionalização dos projetos e obras. À época da construção do E1, encontrava-se vigente a “NB-25R: Modulação das Construções”, a primeira norma técnica de Coordenação Modular decimétrica publicada no país em 1950. Entre as décadas de 1970 e 1980, o Banco Nacional da Habitação (BNH) incentivou estudos na área, no sentido de impulsionar a adoção da Coordenação Modular na construção (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Apesar dos esforços, a aplicação da Coordenação Modular na construção civil brasileira não ocorreu de forma ampla e consolidada. De acordo com o “Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil (ABDI)” de 2009, contratado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), órgão ligado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), poucos

segmentos produzem componentes e elementos construtivos modulares, como é o caso das chapas de gesso. Em diversos segmentos, como telhas de fibrocimento, esquadrias de aço e revestimentos cerâmicos, a prática foi considerada ausente, constatando-se a desinformação sobre o conceito e a dificuldade de efetuar mudanças dimensionais de perfis e maquinário entre os agentes (ABDI, 2009).

No sentido de reverter esse quadro, a ABDI incorporou a Coordenação Modular à Política de Desenvolvimento Produtivo Setorial da Construção Civil, considerada fundamental para a industrialização do setor (ABDI, 2009). Em 2010 foi publicada uma nova versão da norma, a “ABNT NBR 15873:2010 - Coordenação modular para edificações”, segundo a qual a Coordenação Modular é baseada em um sistema dimensional de referência a partir do Módulo Básico de 100 mm, cujo principal objetivo é a compatibilidade dimensional entre os elementos e os componentes construtivos (ABNT, 2010).

Outro importante conceito que passou a integrar as estratégias de modernização da construção civil nacional foi a Modelagem da Informação da Construção, ou *Building Information Modeling* (BIM). O BIM é definido por Eastman *et al.* (2014, p. 13) como “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Baseado em um modelo digital do edifício, o BIM

pressupõe a centralização das informações e o trabalho colaborativo entre os agentes do processo, facilitando a visualização e a compatibilização entre os componentes da construção.

Na última década, o Governo Federal passou a reconhecer os benefícios da utilização conjunta desses conceitos para a indústria da construção civil. Em 2013, lançou em seu “Plano Brasil Maior” uma política de desenvolvimento da indústria da construção no país com enfoque na inovação e competitividade do setor, a partir da adoção da Coordenação Modular e do BIM. No sentido de impulsionar “a interoperabilidade técnica e a construção industrializada”, orientou a criação de “demanda de produtos intercambiáveis” por parte do Estado e a implantação de programas de Coordenação Modular em diversos segmentos da construção, como pré-moldados de concreto, blocos cerâmicos, telhas de aço e esquadrias de aço e alumínio. Adicionalmente, a política visou intensificar o uso de tecnologias da informação na construção e implantar as normas do sistema de classificação da informação da construção (BIM) (BRASIL, 2013).

Essa política levou à criação do Comitê Estratégico de Implementação da Modelagem da Informação da Construção (CE-BIM), sob coordenação do MDIC e da ABDI, dedicado a ações de padronização de conceitos, disseminação e estímulo ao uso, ganhos de economicidade, qualidade e produtividade, com vista à maior competitividade

e eficiência do setor da construção civil no país (BRASIL, sem data). Nesse conjunto de ações, foi publicada em 2011 a primeira parte da norma BIM, a ABNT NBR 15965 - Sistema de classificação da informação da construção. Na sequência, em 2012 e 2015, foram publicadas as partes 2, 3 e 7, enquanto as demais estão em desenvolvimento (GATELANI; SANTOS, 2016).

Atualmente, o CE-BIM discute a criação de uma Plataforma BIM nacional de acesso virtual, público e gratuito, que hospedará a Biblioteca Nacional de famílias BIM (BNBIM) (BRASIL, 2017; CE-BIM, 2017). Dentre as diretrizes, a biblioteca prevê a aplicação de princípios de coordenação modular na concepção de componentes para edifícios públicos. Cita como exemplo a biblioteca de famílias BIM para habitações do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), desenvolvida pela empresa Contier Arquitetura para o MDIC em 2011 (CONTIER ARQUITETURA, 2011; HU et al., 2016).

Nesse contexto, Coordenação Modular e BIM constituem instrumentos potenciais para o aprimoramento tecnológico e para a racionalização do processo produtivo da construção civil, o que justifica a investigação conjunta de seus conceitos e a aplicação prática em um caso real.

### **Objetivos e Métodos**

O presente artigo tem por objetivo identificar as contribuições do BIM para aplicação dos princí-

pios de Coordenação Modular a partir da modelagem paramétrica de componentes de edifícios. Para tanto, adotou como objeto de estudo um caso singular na arquitetura racionalizada, o Edifício E1 da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, em São Carlos/SP, com enfoque na esquadria da fachada longitudinal. Assim, o trabalho abrange os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os princípios de Coordenação Modular no projeto de componentes construtivos;
- Investigar as ferramentas BIM aplicáveis à modelagem de esquadrias;
- Compreender o uso de ferramentas BIM na modelagem de componentes modulares.

O estudo foi desenvolvido no âmbito da disciplina “IAU 5952 - Desenvolvimento Integrado de Edifícios e Modelagem da Informação na Construção (BIM)”, ministrada em 2017 no curso de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP de São Carlos, que propôs aos estudantes a modelagem colaborativa do Edifício E1. Cada equipe modelou um sistema da edificação - estrutura, esquadrias, instalações prediais -, cabendo à equipe de coordenação de projetos fazer a compatibilização e integração em um modelo único do edifício. O edifício foi selecionado para o exercício por ter sido desenvolvido segundo a lógica de modulação e industrialização construtiva.

As atividades de pesquisa para elaboração deste artigo foram estruturadas em cinco etapas, cada

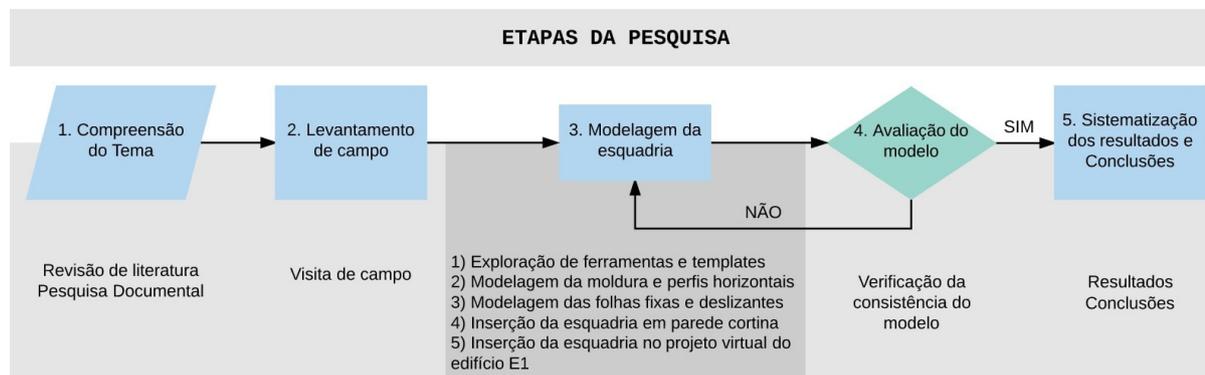


Figura 1. Etapas da pesquisa e técnicas de coleta de dados. Fonte: AUTOR (2018).

qual baseada em técnicas de coleta de dados e fontes de evidência, conforme ilustra a Figura 1:

A Etapa 1 – **A Compreensão do tema** abrangeu os fundamentos teóricos relevantes à pesquisa e o delineamento do objeto de investigação, a esquadria do edifício E1. Inicialmente, foi realizada a Revisão de Literatura, a partir de livros, artigos, teses, dissertações, normas técnicas e publicações institucionais relevantes. Paralelamente, foi realizada Pesquisa Documental mediante a análise dos desenhos do projeto arquitetônico do E1 (especificamente aqueles relacionados à esquadria da fachada longitudinal do edifício), fornecidos pela Divisão de Manutenção e Operação da Prefeitura do Campus USP de São Carlos (PUSP-SC, 2017) e o documento denominado “Avaliação Técnica Bloco E-1” produzido por pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos da USP (MELO *et. al*, 1994). O objetivo foi compreender as particularidades deste componente e levantar os dados necessários à modelagem e simulação em ambiente BIM.

A Etapa 2 – **O Levantamento de campo** contemplou Visita de Campo para verificação dos materiais e das dimensões da esquadria do E1. Foram realizados levantamento de esquadrias do local, com o uso de trena convencional e trena eletrônica. As visitas foram registradas por meio de anotações de campo e fotografias.

A Etapa 3 – **A Modelagem da esquadria** foi realizada com base nos dados disponíveis no projeto arquitetônico e coletados no local, a fim de identificar os parâmetros necessários à aplicação dos conceitos da Coordenação Modular. O *software* Autodesk Revit versão 2017 foi escolhido para desenvolvimento do modelo por apresentar as ferramentas necessárias à modelagem, ser de domínio das pesquisadoras e também por sua gratuidade para fins educacionais. A modelagem teve como referência alguns padrões adotados nas esquadrias do PMCMV e pelo FDE (Fundação para Desenvolvimento da Educação). Esse processo foi dividido em cinco passos: I) Exploração e seleção de ferramentas e *templates* (ou arquivos modelos); II) Modelagem da moldura e perfis horizontais; III) Modelagem das folhas fixas e deslizantes; IV) Inserção da esquadria em parede-cortina; V) Inserção da esquadria no projeto virtual do edifício E1.

A incorporação da família da esquadria no modelo virtual do edifício foi resultado do trabalho colaborativo entre as equipes multidisciplinares da disciplina IAU 5952. A colaboração entre as

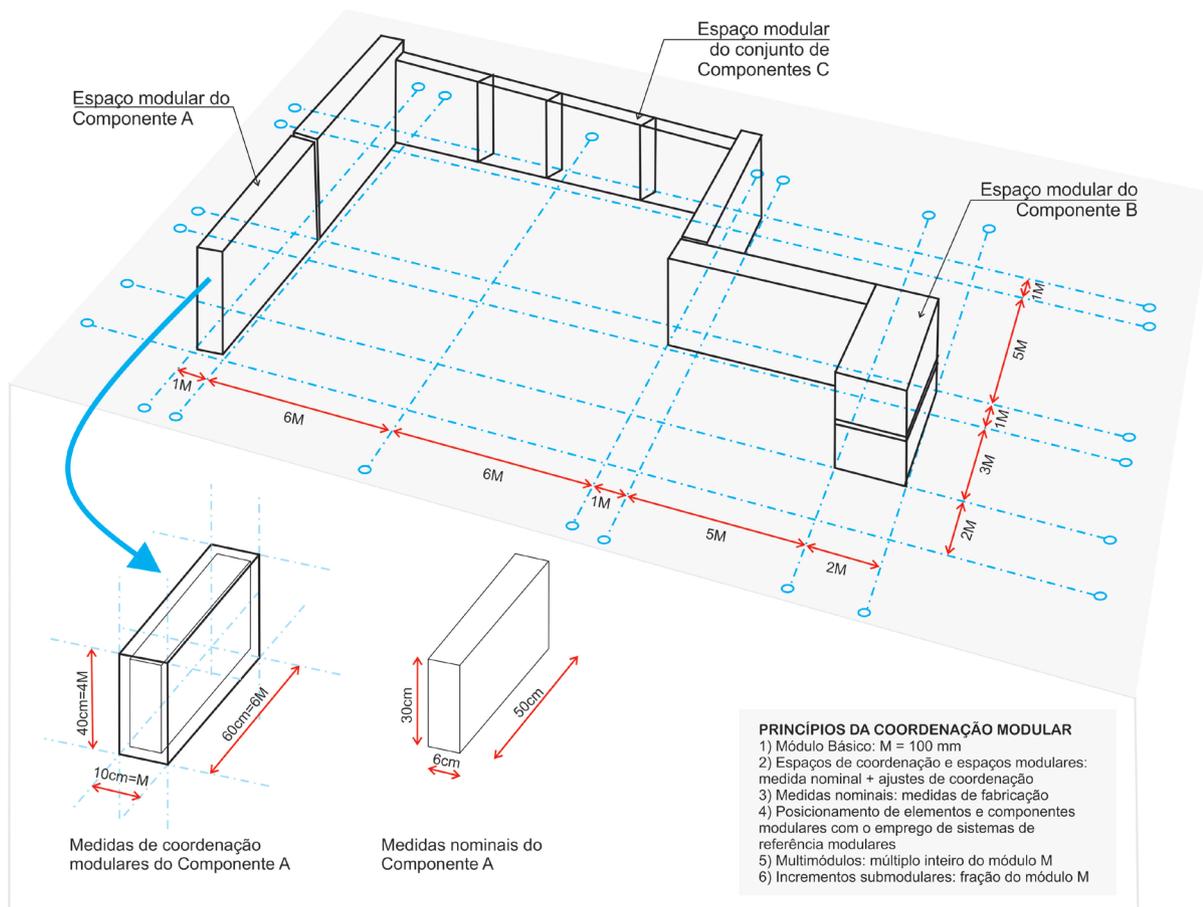


Figura 2. Princípios da Coordenação Modular representados tridimensionalmente. Fonte: AUTOR (2018) com base em ABNT NBR 15873:2010

1.MASCARÓ, L. E. R. de. Coordinación modular? Qué es? Summa, Buenos Aires, n. 103, p. 20-21, ago. 1976.

equipes ocorreu por meio de encontros presenciais e da utilização dos sistemas de nuvem Autodesk 360 e Google Drive para armazenamento e compartilhamento de informações, como documentos do projeto original, imagens da visita de campo e estudos diversos e disponibilização dos modelos construídos pela equipe. As dúvidas foram resolvidas pela extração de cortes em diferentes locais da edificação, bem como pela

observação das elevações, do próprio modelo 3D e dos detalhes, o que proporcionaram dados e decisões com maior grau de confiabilidade.

A Etapa 4 – **A Avaliação do modelo** foi considerada uma etapa importante para verificação de erros e incoerências e correção do modelo do componente. A avaliação foi realizada de forma paralela à modelagem, ao término de cada fase de desenvolvimento.

Por fim, a Etapa 5 - **Sistematização dos resultados** teve o objetivo de registrar as lições aprendidas, apontar para limitações e sugestões para trabalhos futuros, contribuindo desta forma para o conhecimento teórico e prático gerado.

## Coordenação Modular

A definição de Coordenação Modular e sua aplicação em edificações vêm passando por alterações nas últimas décadas. Para Mascaró<sup>1</sup> (1976 apud GREVEN; BALDAUF, 2007) , corresponde a “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”. Por sua vez, Lucini (2001, p. 22) define a Coordenação Modular como “o sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base em um módulo predeterminado (10 cm), compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construti-

vas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações”.

De acordo com a ABNT NBR 15873:2010, a Coordenação Modular se desenvolve segundo um sistema dimensional de referência de 100 mm (Módulo Básico), visando a compatibilidade dimensional entre os elementos e os componentes da construção. Para tanto, a norma estabelece seis princípios de Coordenação Modular, aplicáveis ao projeto e à produção dos elementos da construção, sintetizados na Figura 2:

1. Módulo básico (M): unidade de medida fundamental de Coordenação Modular, segundo a norma, com dimensão de 100 mm.
2. Espaços de coordenação e espaços modulares de elementos e componentes construtivos: o espaço de coordenação é o espaço ocupado por um componente ou elemento construtivo, incluindo o componente ou elemento propriamente dito e as folgas perimetrais necessárias para deformações, tolerâncias e instalações, que são denominadas ajustes de coordenação;
3. Definição das medidas de fabricação de um componente modular: as medidas consideradas na fabricação dos componentes são denominadas Medidas Nominais que, quando associadas aos ajustes de coordenação, devem resultar em uma Medida Modular. A

norma admite componentes não modulares, somente se complementados por outros componentes ou dispositivos, resultando em um Conjunto Modular. Além disso, permite que um componente modular tenha dimensões não modulares, como a espessura, desde que tais dimensões não interfiram na coordenação com outros componentes ou que sua combinação com outros componentes resulte em um múltiplo de M;

4. Posicionamento de elementos e componentes modulares: realizado com o emprego de sistemas de referência modulares. Tais sistemas geométricos são constituídos por n planos ortogonais, dispostos nas três dimensões e igualmente espaçados a 100 mm ou a um multimódulo. A posição de um elemento, componente ou conjunto modular é determinada com a indicação do espaço modular por ele ocupado no sistema de referência.

5. Multimódulos: múltiplo inteiro do módulo básico. O uso dos multimódulos aumenta as possibilidades de compatibilizar componentes e elementos construtivos de diferentes tipos, funções e origens.

6. Incrementos submodulares: são frações do módulo básico com valores normalizados -  $M/2 = 50$  mm;  $M/4 = 25$  mm;  $M/5 = 20$  mm. Os submódulos podem ser empregados para determinar o deslocamento entre siste-

mas de referência distintos e para determinar as medidas de coordenação de componentes. Por outro lado, não podem ser utilizados em substituição ao módulo ou isoladamente como medida de coordenação de um componente (ABDI, 2009; ABNT, 2010).

Os princípios de Coordenação Modular buscam estabelecer uma lógica racional de concepção projetual, que considera o dimensionamento dos elementos e componentes construtivos isoladamente, bem como a integração e compatibilização entre eles para a formação de um conjunto modular, a ser materializado na edificação. Para além do projeto, a Coordenação Modular se aplica a toda a cadeia produtiva da construção de edifícios e sua efetivação depende da colaboração de todos os seus agentes. Segundo Greven e Baldauf (2007, p. 67), a Coordenação Modular “é o princípio, o meio e o fim para a racionalização da construção, desde a fase do projeto dos componentes até a fase da utilização da edificação”.

A utilização de componentes e elementos modulares proporciona maior produtividade e qualidade à construção, na medida em que garante maior agilidade e confiabilidade ao projeto de edificações. A padronização dimensional de componentes, a redução de variedade de tipos e a produção seriada garantem a intercambiabilidade entre componentes, facilitando a execução, a manutenção e as reformas durante a vida útil do edifício. Além da diminuição de custos, pos-

sibilita o atendimento de critérios de sustentabilidade, como a redução de consumo de recursos e geração de resíduos (ABNT, 2010; GREVEN; BALDAUF, 2007). Apesar dos benefícios, a maior parte dos segmentos da construção não aplica a Coordenação Modular em seus componentes e elementos construtivos, como é o caso de telhas, esquadrias e revestimentos (ABDI, 2009).

Na academia, pesquisas se dedicam a investigar a aplicação da Coordenação Modular em distintos processos e sistemas da construção civil. Como sintetizado na Figura 3, a maior parte dos trabalhos levantados, desenvolvidos entre 2002 e 2017, aborda elementos e componentes construtivos, como esquadrias, alvenaria e painéis de vedação, embora haja estudo sobre o viés estratégico da Coordenação Modular para a indústria da construção nacional.

### **Coordenação Modular e BIM**

Apesar das diferentes definições para o BIM, é predominante entre estudiosos do tema o seu entendimento não só como uma tecnologia da informação, mas também como uma nova abordagem dos processos e políticas que permeiam a indústria da construção civil. Succar (2009, p. 357, tradução nossa) compreende o BIM como “uma tecnologia emergente e uma mudança processual dentro do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO)”. Em uma definição ampliada, para este autor o BIM

<b>Pesquisas sobre aplicação da Coordenação Modular no Brasil</b>		
<b>Tema</b>	<b>Autor</b>	<b>Escopo</b>
Esquadrias	Lucini (2002)	Desenvolvimento de sistema modular de fechamento de vãos de esquadrias em edifícios altos.
	Grabarz (2013)	Discussão sobre o uso de portas modulares em projetos de alvenaria estrutural.
	Joazeiro e Barboza (2016)	Elaboração de diretrizes para padronização de portas a partir dos conceitos da Coordenação Modular.
Alvenaria	Martins e Barros (2002)	Elaboração de diretrizes para implantação de sistema de vedação modular em alvenaria.
	Siqueira et al. (2007)	Análise e discussão do projeto para a produção de alvenaria estrutural modular.
	Silva, Barros e Magalhães (2016)	Proposição de família de blocos modulares para alvenaria de vedação em Habitação de Interesse Social (HIS).
Painéis de vedação	César e Roman (2006)	Uso da Coordenação Modular em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos.
	Barboza et al. (2011)	Desenvolvimento de painel modular de alvenaria de blocos.
	Espíndola e Moraes (2008)	Aplicação de Coordenação Modular em sistemas de painéis leves de madeira
Exportação de componentes	Ferro, Barboza e Ferreira (2016)	Coordenação Modular como estratégia para ampliar as exportações de componentes cerâmicos no Brasil, como blocos de vedações e revestimentos.

Figura 3. Quadro com pesquisas sobre aplicação de Coordenação Modular no Brasil. Fonte: AUTOR (2018).

é um conjunto dinâmico e inter-relacionado, que abrange os campos de processos, tecnologias e políticas. Nessa perspectiva, o BIM se consolida com um processo associado e integrado à tecnologia computacional, sendo inseparáveis e interdependentes.

No mesmo sentido, Andrade e Ruschel (2011) apresentam duas acepções para o conceito de BIM: a primeira, como “tecnologia para o desenvolvimento e uso da informação do projeto do

edifício (...), visando a documentação do projeto, simulação da construção e operação do edifício”; a segunda, como “processo de projeto (ou atividade humana, ou conjunto de sistemas, ou metodologia)”, possível por meio de um modelo digital, que permite o gerenciamento de informações de forma colaborativa, coordenada, integrada, com simulação do projeto, possibilitando antever a construção e a operação do edifício no seu ciclo de vida.

De acordo com Eastman *et al.* (2014), o BIM está centrado em dois princípios, considerados fundamentais para a aplicação da Coordenação Modular: a modelagem paramétrica e interoperabilidade. A parametrização é a construção de objetos por regras e parâmetros que determinam a geometria e outras características não geométricas, permitindo a atualização automática dos objetos. O nível de precisão alcançado na modelagem dos componentes garante a compatibilidade com os demais elementos da construção, além de fornecer dados confiáveis para a fabricação fora do canteiro. A interoperabilidade é compreendida, de modo geral, como a capacidade de transmitir informações entre aplicações, o que facilita o fluxo de trabalho e a automação, favorecendo a colaboração entre especialistas em toda a cadeia da construção (EASTMAN *et al.*, 2014).

Diferentemente do processo de projeto tradicional, baseado na representação abstrata do edifício por meio de linhas e símbolos, o BIM propõe

uma lógica de “construção virtual” do edifício (ANDRADE; RUSCHEL, 2011), integrando componentes e elementos construtivos em um modelo único. O BIM facilita a modelagem de objetos paramétricos modulares, por meio da inserção de eixos e parâmetros dimensionais, bem como a compatibilização destes no projeto, possibilitando a visualização de interferências em 3D e a simulação de desempenho na construção e uso.

Pesquisas recentes discutem os benefícios da integração entre BIM e Coordenação Modular para a indústria da construção civil. De acordo com Singh, Sawhney e Borrmann (2015), além da possibilidade de automatizar algumas atividades complexas e repetitivas, o uso do BIM em edifícios coordenados modularmente pode melhorar a comunicação entre participantes do projeto, facilitar a organização de atividades de planejamento, a análise de projeto, o desenvolvimento de desenhos, o cronograma de fabricação e construção, assim como aumentar a confiabilidade das técnicas de construção racionalizada.

No mesmo sentido, Romcy *et al.* (2014) avaliam as contribuições do BIM para a integração dos agentes da cadeia produtiva, uma das principais barreiras para consolidação da Coordenação Modular no país. Além disso, discutem o papel do desenho paramétrico e da interoperabilidade para a produção de elementos e componentes coordenados modularmente:

“o BIM disponibiliza ferramentas associadas ao conceito de desenho paramétrico e interoperabilidade que permitem um ambiente virtual integrado, em que os conceitos da Coordenação Modular podem ser aplicados e compreendidos a partir de uma visualização mais clara do modelo e de uma automatização de funções.” (ROMCY *et al.*, 2014, p. 37)

Dessa forma, o ambiente virtual BIM se anuncia promissor para o desenvolvimento de projetos coordenados modularmente e para a integração com os agentes nas demais fases do ciclo de vida.

### **O edifício E1**

Situado no Campus da USP em São Carlos-SP, o Edifício E1 é um dos primeiros exemplares da utilização da coordenação modular na construção civil nacional. De autoria do arquiteto Hélio de Queiroz Duarte e engenheiro Ernest de Carvalho Mange, o edifício foi idealizado na década de 1950 em caráter experimental, baseado na padronização e industrialização dos elementos construtivos. O projeto foi realizado com planta livre e sistema estrutural em concreto armado, com a locação das vedações internas e instalações de forma independente e flexível, permitindo atender diferentes usos, como salas de aula, laboratórios e administração (EESC, 1959). Por essa razão, o edifício seria um modelo a ser replicado no campus para atender às necessidades espaciais da Escola de Engenharia de São Carlos.

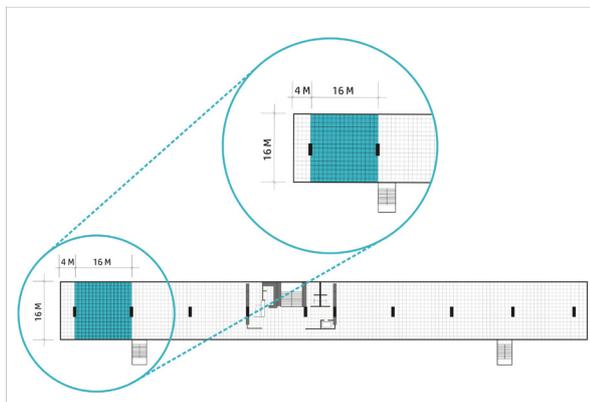


Figura 4. Planta Baixa do Pavimento Tipo do edifício E1 - Modulação e cotas. Fonte: AUTOR (2018) com base em PUSP-SC (2017).



Figura 5. Vista da fachada principal do edifício E1 (à esquerda). Fonte: AUTOR (2018). Figura 6. Unidade de Habitação de Marselha (à direita). Fonte: Arq. Luisy Isabelle Silva (2017).

O projeto do E1 foi concebido a partir de um módulo de 70 cm, configurando uma malha bidimensional que integrava os sistemas estruturais, as vedações, as esquadrias e as instalações hidráulica e elétrica. A medida do módulo teria sido adotada com base em pesquisa sobre os produtos presentes à época no mercado da construção civil no país, prevalentes entre 2,10m e 2,80m, múltiplos de 70 cm. A modulação é representada nas plantas baixas do projeto arquitetônico a partir de uma malha ortogonal e das cotas, definidas em módulos e não em centímetros, como mostra a Figura 4 (MELO et. al, 1994).

Complementar à noção de modulação, o conceito de tipo também orientou o projeto por meio de elementos tipificados, como caixilhos-tipo, colunas-tipo, peitoris-tipo (Figura 5) (MELO et. al, 1994). Dessa forma, segundo Nobre (2007), o projeto ganhava status de tipificação e de replicabilidade. A introdução de uma lógica de coordenação modular pelos autores é atribuída à experiência de Mange na Europa, especificamente, ao período em que atuou como estagiário no ateliê de Le Corbusier, entre os anos de 1947 e 1948 (VIEIRA, 2008; ITAÚ CULTURAL, 2017). O Pavilhão Suiço de Le Corbusier (projeto de 1931) teria sido a referência para o projeto da canaleta visitável das instalações, que corre longitudinalmente no edifício e descem pelos pilares. Da Unidade de Habitação de Marselha (projeto de 1952) (Figura 6), obra que Mange teve oportunidade de acompanhar, o E1 incorpora soluções da fachada em forma de gre-

lha que, além de ritmo, proporciona iluminação e ventilação. É corbusiana também a inspiração da forma, um paralelepípedo suspenso do solo, com as quatro fachadas livres (NOBRE, 2007).

Apesar de o E1 não ter sido de fato replicado no campus da universidade, conforme se previa a construção de mais dois blocos (E2 e E3), ainda assim destaca-se sua importância. De acordo com Nobre (2007), os entraves tecnológicos e técnicos enfrentados nos anos de 1950 levaram a uma produção de caráter artesanal, que incluiu a moldagem das peças de concreto no local e a dobra e fixação das chapas de aço das esquadrias por rebite, realizadas sob encomenda para o edifício. Embora a modulação tenha sido defendida, entre outras vantagens, como fator gerador de tempo e economia, a construção extrapolou o orçamento inicial e o prazo previsto de seis meses para mais de dois anos. Além disso, a autora relata uma provável dificuldade na coordenação das disciplinas que teria desconsiderado a junta de dilatação do edifício, levando ao acréscimo de 20 cm na caixilharia das fachadas longitudinais.

Passadas várias décadas, o E1 é ainda a principal referência edificada no campus da USP em São Carlos. A distinção do E1 é dada pela demonstração da necessidade do avanço tecnológico relacionado à concepção e processo de projeto baseado no raciocínio de coordenação modular. Funcionalmente, a planta livre e flexível possibilitou variações de layout ao longo de seu



Figura 7: Vista interna das esquadrias modelo M1 localizadas no 4º pavimento do edifício E1 (à esquerda). Fonte: AUTOR (2018). Figura 8: Vista interna do painel de esquadria M1 localizado no 4º pavimento do edifício E1 (à direita). Fonte: AUTOR (2018).

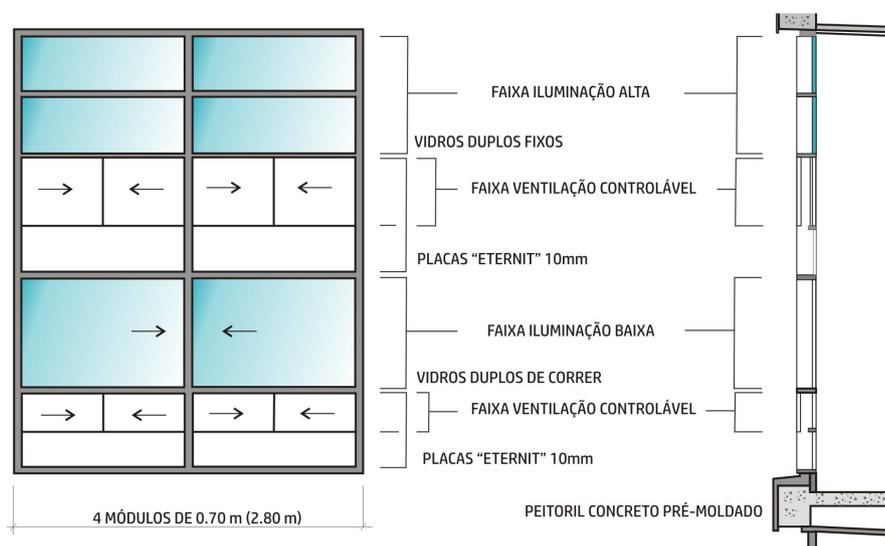


Figura 9: Vista frontal interna e seção do painel M1, com especificação de materiais. Fonte: AUTOR (2018) com base em EESC (1959).

uso, atendendo às demandas da instituição. O projeto foi pioneiro e experimental, o que reforça a sua escolha para a investigação aqui proposta.

### Esquadria do Edifício E1

Como objeto desta pesquisa, foi selecionada a esquadria metálica da fachada longitudinal do pavimento tipo, modelo M1, que compõe os fechamentos das fachadas principais do edifício. A esquadria M1 é constituída de um painel com dimensões padronizadas no projeto, com largura de 280 cm (dimensionada na planta baixa em 4 M), altura de 360 cm e espessura de 17 cm (Figuras 7 e 8).

O projeto da esquadria considerou estudos de conforto térmico e lumínico, prevendo vãos para iluminação natural e aberturas para ventilação cruzada o que gerou uma complexidade no desenho e variação de subcomponentes de diferentes medidas e padrões de materiais (EESC,1959). Como ilustra a Figura 9, o painel M1 é composto pelos seguintes segmentos: em sua parte superior, faixa fixa de iluminação em vidro transparente, faixa de ventilação controlável por meio de folhas deslizantes e faixa fixa em placas de fibrocimento com 10mm de espessura, tipo “Eternit”; em sua parte central, faixa de iluminação em folhas deslizantes de vidro transparente; em sua parte inferior, faixa de ventilação controlável por meio de folhas deslizantes e faixa fixa em placas tipo “Eternit”.

De acordo com o memorial descritivo da obra e com o documento de “Avaliação Técnica Bloco E1”, o painel M1 seria constituído por materiais como: perfis de ferro; chapa de ferro nº 10 e baguetes de chapa; montantes metálicos; placas de fibrocimento com 10mm de espessura; vidros transparentes; ferragens metálicas (carros, trilhos, guias e pinos de correr) (MELO *et al.*, 1994).

Verificação da conformidade da esquadria do edifício E1 aos princípios da Coordenação Modular previstos na NBR 15873:2010

Princípio	Atendimento			Observações
	Total	Parcial	Nulo	
1. Módulo básico (M)		x		O painel da esquadria M1 possui 280 cm, no eixo horizontal, o que corresponde a 28M, e 360 cm no eixo vertical, o equivalente a 36M. A espessura do painel é variável, de modo que sua maior dimensão é 17 cm, ou seja, não é modular.
2. Espaços de coordenação e espaços modulares de elementos e componentes construtivos			x	O painel da esquadria possui 28M no eixo vertical e 36M no eixo horizontal, incluindo as peças de ligação. Todavia, como a espessura do painel não é modular (17 cm), o espaço tridimensional ocupado pelo painel – espaço de coordenação - não é modular.
3. Definição das medidas de fabricação de um componente modular	x			O painel possui altura e largura modulares, porém a espessura não é modular (17 cm). Considerando que esta dimensão não interfere na coordenação de outros elementos, como a parede de alvenaria, considera-se que o conjunto de componentes é modular. As medidas modulares do painel contemplam as medidas nominais de fabricação e os ajustes de coordenação.
4. Posicionamento de elementos e componentes modulares			x	A distribuição das esquadrias do edifício E1 em planta baixa, ocorreu a partir de uma malha referencial, composta por eixos ortogonais espaçados a cada 70 cm, o que corresponde a 7M. Não foram previstos eixos tridimensionais, de modo que o espaçamento entre planos não configura um sistema de referência modular.
5. Multimódulos		x		Em termos de altura e largura, pode-se compreender que o painel da esquadria foi dimensionado a partir de multimódulos de 40 cm, ou seja, 4M. Quanto à espessura, a dimensão de 17 cm não corresponde a um multimódulo.
6. Incrementos submodulares			x	Não foram empregados incrementos submodulares na composição do painel, mas sim componentes não modulares, como as peças de ligação.

Figura 10. Verificação da conformidade da esquadria do edifício E1 aos princípios da Coordenação Modular previstos na NBR 15873:2010. Fonte: AUTOR (2018).

Além da análise dos documentos do projeto arquitetônico, foram realizados levantamentos in loco para verificar dimensões e materiais. Foram levantadas esquadrias nos três pavimentos do edifício, constatando-se variações dimensionais entre elas, provavelmente decorrentes de ajustes na obra. Diante da irregularidade dos painéis, foram adotadas as dimensões previstas em projeto (280 cm x 360 cm), como forma de padronizar as esquadrias empregadas no edifício.

Com os dados da esquadria, foi realizada uma análise de sua conformidade em relação aos princípios da Coordenação Modular estabelecidos pela ABNT NBR 15873:2010, como detalhado na Figura 10. Embora os princípios da Coordenação Modular tenham sido parcialmente atendidos, considera-se que o conjunto de componentes é modular, por apresentar dimensões principais modulares e prever os ajustes de coordenação necessários à replicação da esquadria, possibilitando seu emprego em projetos de edifícios modulares. Esse entendimento reforça a precoce adesão do projeto do E1 à lógica da Coordenação Modular vigente.

### Processo de modelagem

A partir das informações coletadas, foi realizada a modelagem da esquadria em cinco passos, como descrito a seguir:

#### I) Exploração de ferramentas e templates:

investigação do software Autodesk Revit 2017 para seleção adequada de templates (arquivos modelos) e ferramentas. Também foram estudadas as famílias BIM de esquadrias criadas pelo PMCMV, que demonstram o uso de “template de janelas métricas”, com parâmetros coordenados modularmente; e do FDE, em que utiliza “template de janelas métricas cortinas”, sem parâmetro de CM. Observou-se ainda que uma família é composta por vários subcomponentes (folha deslizante, folha fixa, moldura, etc.), modelados separadamente e inseridos no projeto do componente principal (molduras e perfis). Na modelagem dos subcomponentes, foram usados templates “janela métrica”, enquanto para o componente principal, empregou-se “janela métrica – parede-cortina” (Figura 11). As dimensões finais do componente “Esquadria M1” são: 70 cm (módulo básico) e do painel da esquadria (280 cm de largura x 360 cm de altura e 17cm de espessura).

#### II) Modelagem da moldura e perfis horizontais

- “componente principal” do painel M1: a partir do template de família para janela métrica parede-cortina do Revit, os perfis foram modelados com uso de ferramentas de “Extrusão de Sólido”. Os “Planos de Referência” auxiliaram na definição das medidas de largura, altura e profundidade. Estas medidas foram transformadas em “Parâmetros” por meio da ferramenta “Tipos de Famílias”, em concordância com a norma de coordenação modular (ABNT NBR 15873:2010). Foram consideradas as medidas para largura: Medida Nominal

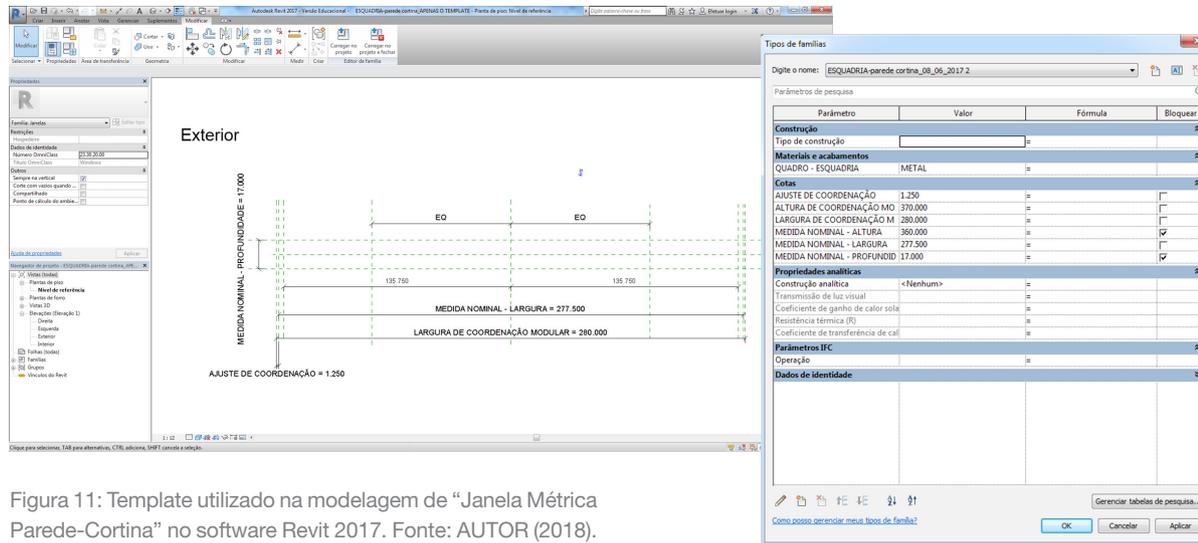


Figura 11: Template utilizado na modelagem de “Janela Métrica Parede-Cortina” no software Revit 2017. Fonte: AUTOR (2018).

(277,5 cm) e Ajuste de Coordenação (1,25 cm). Estas duas medidas somadas resultaram no parâmetro Largura de Coordenação Modular (total de 280 cm). E para altura: Medida Nominal (360 cm) e Ajuste de Coordenação (10 cm). Ainda foram definidos os parâmetros de “Material e Acabamentos” por essa ferramenta (Figura 12).

III) **Modelagem das folhas fixas e deslizantes**, subcomponentes da esquadria: em um *template* de janela métrica do Revit, foram modelados os componentes da esquadria. Da mesma forma que na etapa anterior, os perfis foram construídos com ferramentas de “Extrusão de sólidos”, “Planos de Referência” e posteriormente, parametrizadas as medidas. Ao todo, foram modelados dez subcomponentes que, depois de finalizados, foram carregados para o “componente princi-

pal”, realizando-se os encaixes e as correções necessárias. Como resultado, obteve-se a família do painel M1 (Figuras 13 e 14).

IV) **Inserção da esquadria em sistema de “parede-cortina”**: o componente foi carregado para um projeto de arquitetura do Revit. Inseriu-se por meio da ferramenta “Parede”, um sistema de parede-cortina para hospedar a esquadria. Pela “Caixa de Propriedades”, aba “Construção”, definiu-se o “Painel Parede-Cortina” como Esquadria E1. A seguir, foi necessário definir os perfis de junção janela-janela e janela-parede (Figura 15). Os perfis de junção haviam sido considerados anteriormente como “Ajustes de Coordenação Modular” e suas medidas de modelagem foram: 2,5 cm frontal x 7,0 cm profundidade (perfil janela-janela) e 1,25 cm frontal x 7,0 cm profundidade (perfil janela-parede).

Esta atividade demonstrou que a parede-cortina deve possuir medida de extensão múltipla de 280 cm (correspondente à Largura de Coordenação Modular) e altura de 360 cm (definida na família da esquadria), a fim de evitar a sobreposição dos elementos finais da parede. É importante que o projetista estabeleça estas medidas e recomendações em manuais, a fim de orientar futuros usuários.

V) **Inserção da esquadria no projeto virtual do Edifício E1**, com o carregamento da família. A colaboração entre as equipes mul-

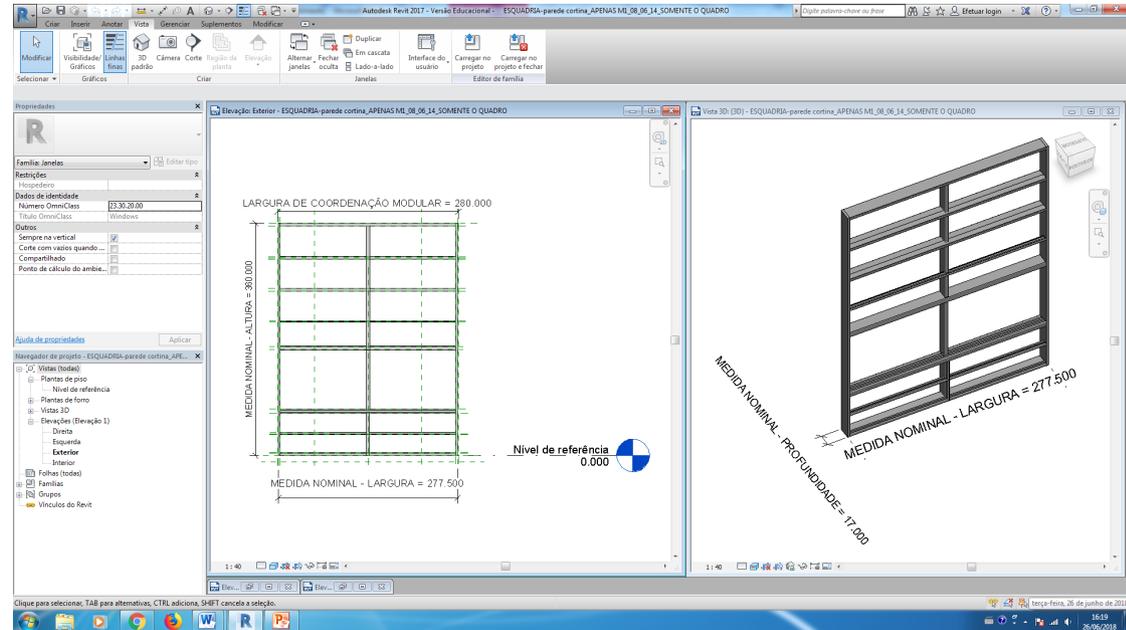


Figura 12: Modelagem da moldura e perfis horizontais. Fonte: AUTOR (2018).

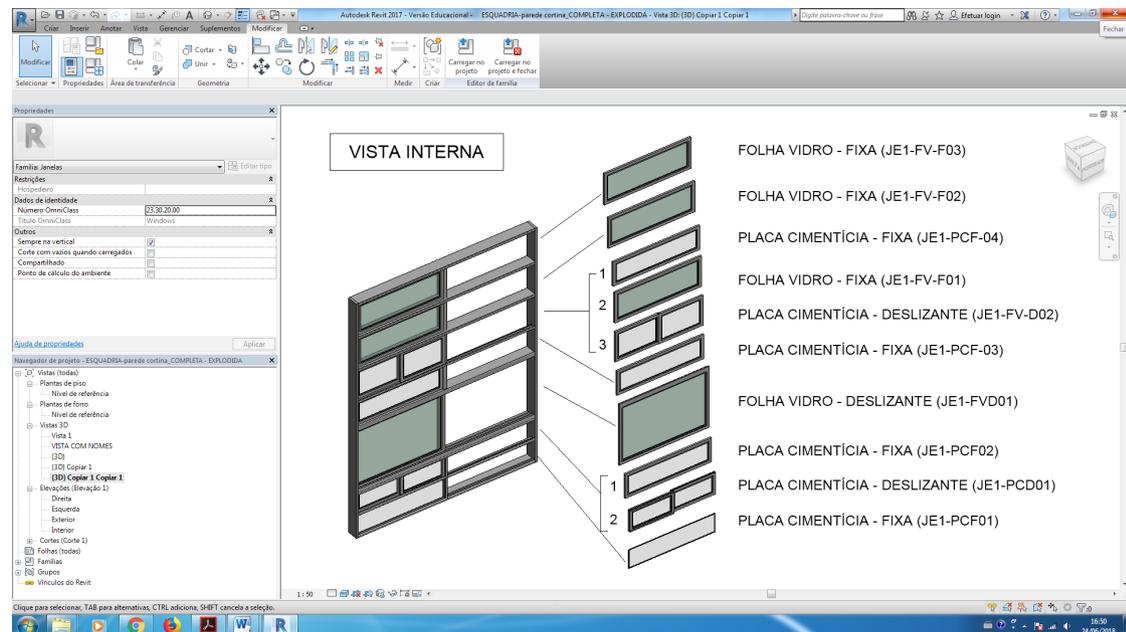


Figura 13: Subcomponente modelados. Fonte: AUTOR (2018).

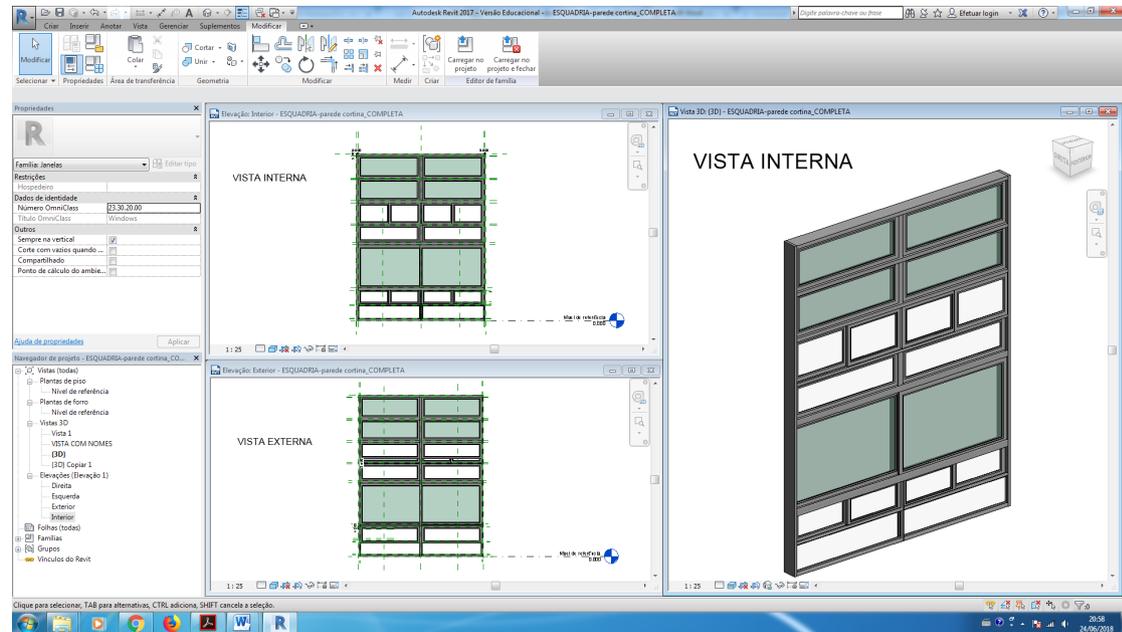


Figura 14: Vistas do modelo do componente finalizado. Fonte: AUTOR (2018).

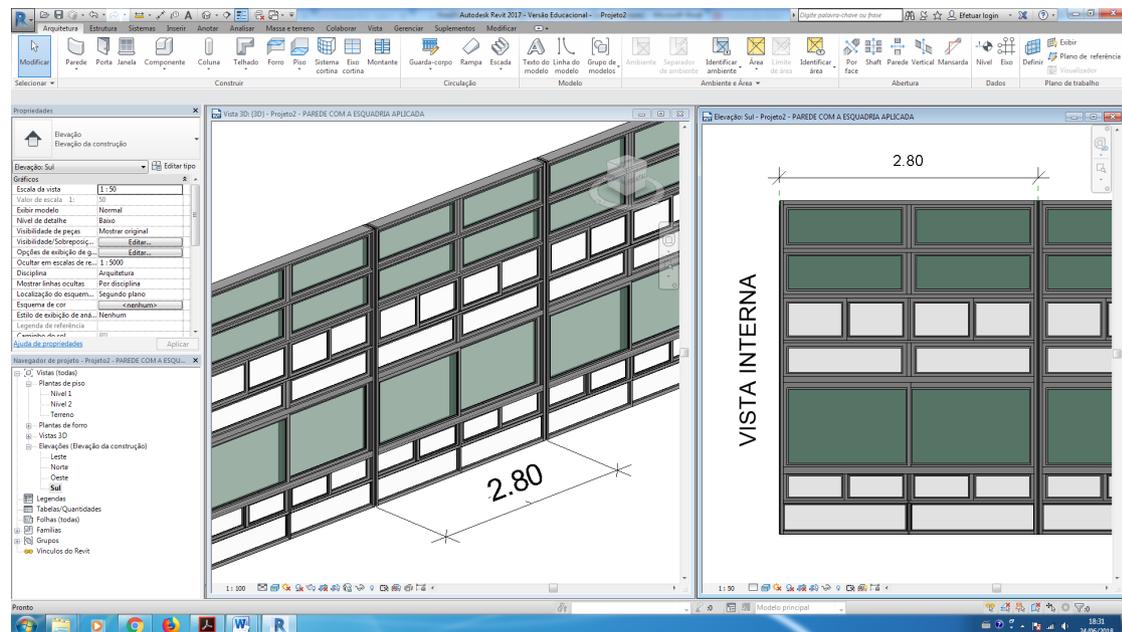


Figura 15: Modelagem componente principal, aplicado em parede-cortina. Fonte: AUTOR (2018).

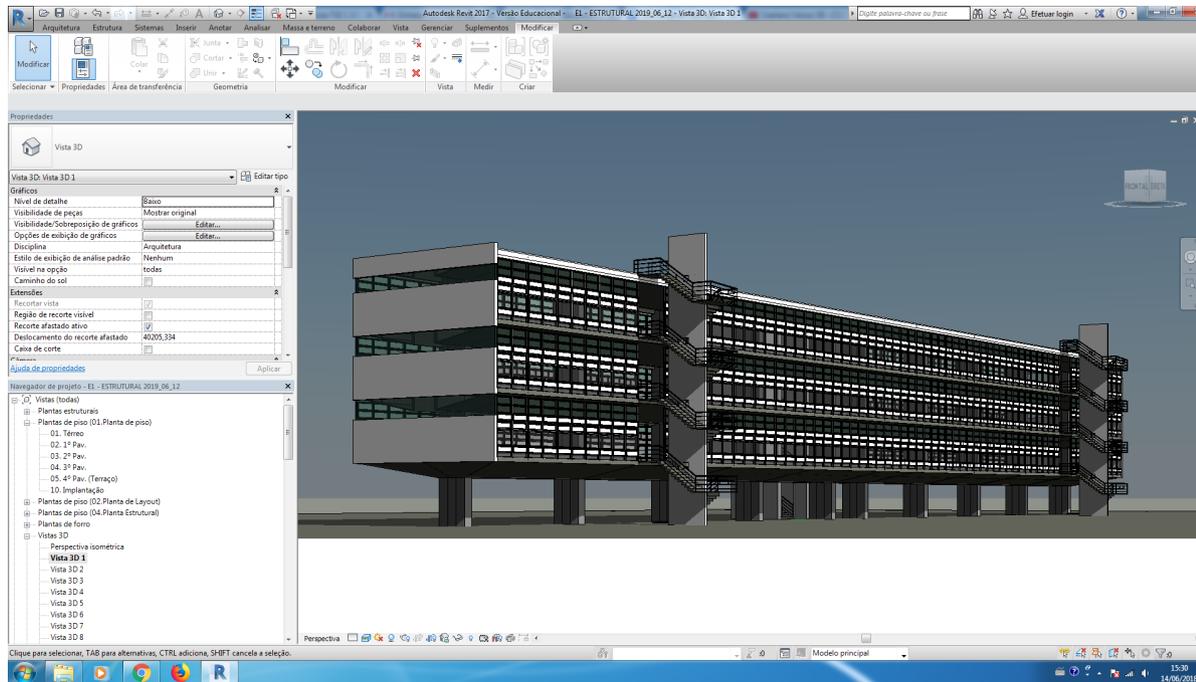


Figura 16: Componente aplicado ao projeto do edifício. Fonte: AUTOR (2018).

tidisciplinares foi essencial para os ajustes necessários no componente, bem como para avaliação da automatização da inserção deste no processo de construção do edifício. Referente ao Espaço Modular do projeto, houve concordância das medidas do componente com o espaço a ele destinado no modelo do edifício (Figura 16).

A proposição de um processo de modelagem e avaliação simultâneas, segmentado em fases de desenvolvimento, possibilitou o aperfeiçoamento do modelo, visando o uso otimizado das ferramentas disponíveis para o projeto de esquadria modular.

## Resultados

A partir dessa experiência didática, identificam-se importantes contribuições da utilização do BIM para aplicação dos princípios de Coordenação Modular em componentes de edifícios. A construção do Painel modular M1, esquadria da fachada longitudinal do edifício E1, foi possível por meio de ferramentas de modelagem do próprio *software* Revit, sem a necessidade de desenvolvimento de aplicativos especiais.

O processo de modelagem requisitou, além das informações prévias do projeto, conhecimentos sobre os recursos de modelagem de famílias, como a seleção de *templates* corretos. Para a modelagem dos subcomponentes da esquadria, o *software* permitiu a inserção de parâmetros dimensionais, como medidas nominais, ajustes de coordenação e medidas modulares, atendendo aos requisitos básicos da Coordenação Modular. Além disso, a ferramenta dispõe de recursos como definição de eixos e níveis, que auxiliaram na modelagem dos subcomponentes, em seu correto posicionamento no sistema modular de referência e na sua integração em um único componentes BIM. Outro aspecto relevante foi a possibilidade de automatizar a distribuição dos painéis de esquadrias no edifício por meio da incorporação das esquadrias em parede-cortina, considerando os ajustes de coordenação necessários e a compatibilidade com os demais elementos e sistemas construtivos.

Além dos recursos de modelagem, destaca-se a capacidade de visualização do projeto em ambiente BIM. Na produção da esquadria, a modelagem individual de cada subcomponente demandou um elevado grau de detalhamento, aspecto facilitado pela possibilidade de manuseio do modelo em diferentes vistas. Da mesma forma, o modelo permitiu a extração automática de dados, como desenhos técnicos bidimensionais, quantitativos e especificações técnicas, utilizados para discussão do projeto e verificações in loco.

A colaboração e a comunicação entre as equipes foram potencializadas pelo uso do *software*, cuja interoperabilidade entre os modelos permitiu a compatibilização adequada entre os sistemas do edifício. Em síntese, o conjunto de ferramentas do Revit possibilitou a produção eficiente e confiável do componente modular, atendendo aos propósitos do exercício didático.

### Considerações Finais

A conclusão deste estudo demonstra que o uso de BIM para concepção de componentes e elementos construtivos modulares, em projetos desenvolvidos de forma colaborativa, apresenta diversos benefícios para toda a cadeia produtiva da construção civil. O BIM facilita o desenvolvimento do projeto do componente com elevada precisão dimensional e acuidade no posicionamento, amplia a capacidade de visualização e extração de dados e favorece a colaboração en-

tre os profissionais envolvidos no projeto, produção e instalação do componente.

Entretanto, requer o conhecimento das próprias ferramentas de modelagem do software e da compreensão dos princípios da Norma de Coordenação Modular pela equipe, para ser amplamente usado e aperfeiçoado pelo setor. Ao mesmo tempo, deve-se considerar a capacitação técnica dos agentes no desenvolvimento de projetos executivos de componentes com elevado grau de detalhamento de perfis, chapas e sistemas de funcionamento. Na prática, isso abre possibilidades para escritórios especializados no desenvolvimento de tais componentes, como prestadores de serviços para indústrias e outros escritórios em geral.

Nesse sentido, destaca-se o importante papel dos fornecedores de componentes construtivos na modelagem BIM de seus produtos, cuja atuação ainda é incipiente no Brasil. Avalia-se que a consolidação dessa prática pode ampliar a adoção de componentes pré-fabricados, estimulando a racionalização da cadeia produtiva, a ser beneficiada pela Coordenação Modular.

Diante do exposto, acredita-se que a difusão do BIM entre os projetistas e fornecedores de materiais e componentes de construção brasileiros pode impulsionar a aplicação dos princípios da Coordenação Modular no projeto de componentes e edifícios, por meio de ferramentas paramé-

tricas e colaborativas. A efetiva integração desses conceitos sinalizada em políticas públicas, pode contribuir significativamente para o avanço da cadeia produtiva da construção civil.

### Agradecimentos

À arquiteta Luisy Isabelle Silva que gentilmente cedeu a foto da Unidade de Habitação de Mar-selha, utilizada na Figura 6.

Aos colegas da disciplina IAU 5952 pelo trabalho integrado e colaborativo.

À Escola de Engenharia de São Carlos e à Di-visão de manutenção e operação da Prefeitura do Campus USP de São Carlos (PUSP-SC), por facultar o acesso aos projetos originais e ao Edi-fício E1 da Escola de Engenharia.

Ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU), da Universidade de São Paulo (USP), pela estrutura de pesquisa.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvi-mento Científico e Tecnológico), pela bolsa produtivi-dade em pesquisa (Processo N°306185/2015-6).

### Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – FUNDAÇÃO EUCLIDES CUNHA. **Relatório de avaliação dos esforços para im-**

**plantação da coordenação modular no Brasil.** [S.l.: s.n.], 2009.

AGOPYAN, Vahan, JOHN, Vanderley M.; GOL-DEMBERG, José (Coord.). **O desafio da sus-tentabilidade na Construção Civil.** Vol. 5. São Paulo: Blucher, 2011.

ANDRADE, Max L.V.X. de; RUSCHEL, Regina Coeli. Building Information Modelling. In: KO-WALTOWSKI, D.C.C.K.; MOREIRA, D.de C.; PETRECHE, J.R.D.; FABRÍCIO, M.M. (Org.). **O processo de projeto em Arquitetura:** da teoria à tecnologia. 1ed.São Paulo: Oficina de Textos, 2011, v., p. 421-442.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873:** Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

BARBOZA, Aline da Silva Ramos et al. A técni-ca da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto. **Ambiente Construído**, Por-to Alegre, v. 11, n. 2, p. 97-109, abr./jun. 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/262459798\\_The\\_modular\\_coordination\\_technique\\_as\\_a\\_guiding\\_design\\_tool](https://www.researchgate.net/publication/262459798_The_modular_coordination_technique_as_a_guiding_design_tool)>. Acesso em: 23 jun. 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indús-tria e Comércio Exterior. **Plano Brasil Maior.** Agendas Estratégicas Setoriais. Brasília, 2013, 140p.

\_\_\_\_\_. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Comitê define diretrizes para novo modelo de gestão na construção civil**. Brasília, sem data. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/noticias/2798-comite-define-diretrizes-para-novo-modelo-de-gestao-na-construcao-civil>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **CE-BIM**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/ce-bim>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

BRUNA, Paulo. **Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento**. São Paulo: Perspectiva, 1976.

CATELANI, Wilton Silva.; SANTOS, Eduardo Toledo. Normas Brasileiras sobre BIM. **Concreto & Construções**, São Paulo, p. 54-59, 01 out. 2016. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/page54.html](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/page54.html)>. Acesso em: 23 jun. 2018.

CE-BIM. Comitê **Estratégico BIM para consulta técnica sobre requisitos mínimos e criação da plataforma BIM**. 22 de novembro. Notas da reunião. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

CESAR, Cristina Guimarães; ROMAN, Humberto Ramos. Desenvolvimento de um processo construtivo racionalizado: painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. In: Luis Carlos Bonin; Sérgio Roberto Leusin de Amorin. (Org.). **Inovação Tec-**

**nológica na Construção Habitacional - Coletânea Habitar**. 1ed. Porto Alegre: ANTAC, 2006, v. 6, p. 116-141. Disponível em: <[http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2012/05/ct\\_6\\_comp.pdf](http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2012/05/ct_6_comp.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2018.

CONTIER ARQUITETURA. **Tutorial MCMV**. Fevereiro/2011. Disponível em: <<http://contier.com.br/downloads-1/familias-mcmv>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

DIVISÃO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DA PREFEITURA DO CAMPUS USP DE SÃO CARLOS (PUSP-SC). [Projetos do Edifício E1 da Escola de Engenharia]. São Carlos, 2017.

EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ESCOLA de Engenharia de São Carlos. **Acrópole**, São Paulo, n. 249. p.: 324-329, jul-ago.1959. Disponível em: <<http://www.acropole.fau.usp.br/edicao/249>>. Acesso em 05 jun. 2017.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa.; MORAES, Poliana Dias de. Coordenação Modular em Sistemas Leves de Madeira e Sistemas Mistos. 2008. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2008. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

FERRO, Fernanda; BARBOZA, Aline; FERREIRA, Dilson. A coordenação modular como alternativa para impulsionar as exportações de componentes cerâmicos no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil:** uma abordagem atualizada. Porto Alegre: ANTAC, 2007. Coleção Habitare, 9. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/livro\\_completo.pdf](http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/livro_completo.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2018.

GRABARZ, Regina Candeloro. **Contribuição para o emprego de portas modulares em projetos de alvenaria estrutural.** 2013. 285 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4678/4800.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

HU, Osvaldo Ramos Tsan; MEDEIROS, Aline Aparecida Silva; BARROS, Edson de Almeida; OLIVEIRA, João Tales. Análise e discussão da biblioteca de componentes REVIT, desenvolvida para o ministério do desenvolvimento, indústria e comércio

exterior para uso no programa “Minha Casa, Minha Vida”. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 16, p. 1, 2016. Disponível em: <<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/8057>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

ITAÚ CULTURAL. Mange. São Paulo, 2017. Artes visuais. Disponível em: <<http://enciclopedia.itaucultural.org.br/pessoa2443/mange>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

JOAZEIRO, Fernanda; BARBOZA, Aline. Diretrizes para padronização dimensional de portas utilizando os conceitos da coordenação modular In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

LUCINI, Hugo Camilo. **Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias.** São Paulo: Pini. 2001.

\_\_\_\_\_. Modulação de vãos de esquadrias. 2012. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2002. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

MARTINS, Marcelo G.; BARROS, Mercia M. S. B. B. Diretrizes para a implantação de um sistema de vedação modular em alvenaria. In: EN-

CONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2002. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

MELO, Aluísio Braz de et al. **Avaliação Técnica Bloco E-1**. Trabalho da Disciplina Patologia das Construções II – SAP 818. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

NOBRE, Ana Luiza. Módulo Só. O edifício E1, em São Carlos, de Ernest Mange e Hélio Duarte. **Risco**: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (on line), v. 5, p. 22-32, 2007. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/risco/article/download/44687/48310>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

ROMCY, Neliza Maria e Silva; CARDOSO, Daniel; BERTINI, Alexandre Araújo; PAES, André. Desenvolvimento de aplicativo em ambiente BIM segundo princípios da Coordenação Modular. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 23-39, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v14n2/03.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

SILVA, Fábila; BARROS, Bruna; MAGALHÃES, Emanuelle. Proposta de uma família de blocos modulares com geometria diferenciada para alvenaria de vedação em HIS. In: ENCONTRO

NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

SINGH, Manav Mahan; SAWHNEY, Anil; BORRMANN, André. Modular coordination and BIM: Development of rule based smart building components. **Science Direct**. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

SIQUEIRA, Renata A. et al. Coordenação Modular da alvenaria estrutural: concepção e representação. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo** – v. 19, números 24+25. Belo Horizonte: Ed. PUC Minas, 2012. Disponível em: <<http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/colloquiomom/comunicacoes/siqueira.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, Volume 18, Issue 3, May 2009, Pages 357-375. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001568>. Acesso em: 21 de abril de 2017. DOI:10.1016/j.autcon.2008.10.003

VIEIRA, Cintia Cristina. **Conforto térmico e ventilação natural no edifício administrativo da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, o bloco E1**. 2008. 187 p. Dissertação (Mestrado em Arquite-

tura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/...09092008.../Dissertacao\\_Cintia\\_Vieira.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/...09092008.../Dissertacao_Cintia_Vieira.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2018. ■