



GESTÃO E TECNOLOGIA DE PROJETOS

Design Management and Technology

2014 jul.-dez.; 9(2)



Uma publicação do
Instituto de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo



© Gestão e Tecnologia de Projetos

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento.

Periodicidade

Semestral

Tiragem

revista eletrônica



Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo [IAU-USP]

Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 - Centro

13566-590, São Carlos - SP, Brasil

Telefone: +55 16 3373-9311

Fax: +55 16 3373-9310

www.iau.usp.br

iau usp

Ficha Catalográfica

Gestão e Tecnologia de Projetos / Universidade de São Paulo.

Instituto de Arquitetura e Urbanismo. - v. 1, n. 1 (2006) - .

- São Carlos: USP, 2006 -

Semestral

ISSN 1981-1543

1. Processos e tecnologias de projetos – Periódicos.
Arquitetura. I. Universidade de São Paulo. Instituto de
Arquitetura e Urbanismo.

Apoio

Programa de Apoio às Publicações Científicas Periódicas da USP - SiBI USP

Bases de Indexação e Divulgação



Produção e Assessoria Editorial





5 EDITORIAL

*Paulo Roberto Pereira Andery
Márcio Minto Fabricio*

**7 ONTOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UMA ALTERNATIVA PARA O PROBLEMA DE
INTEROPERABILIDADE COM O USO DO IFC**

*Ontologies in Building Construction: An Alternative to the
Problem of Interoperability Using IFC*

Fabiano Rogerio Correa, Eduardo Toledo Santos

**23 A LEITURA DA GRAMÁTICA DA FORMA DO
CONJUNTO HABITACIONAL CAMPINAS F DA CDHU
EM CAMPINAS**

*Shape Grammar Reading of Social Housing Campinas F of
CDHU in Campinas*

*Marcelo de Moraes, Lucas Gabriel Marinho dos Santos,
Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina*

**37 DIRETRIZES PARA A GESTÃO DE PROJETOS
INDUSTRIALIS**

*Project Management: Guidelines for Industrial Projects
Tassia Fassura Lima da Silva, Sílvio Burttino Melhado*

**53 SAMBA RECEPTION DESK: COMPROMISING
AESTHETICS, FABRICATION AND STRUCTURAL
PERFORMANCE WITH THE USE OF VIRTUAL AND
PHYSICAL MODELS IN THE DESIGN PROCESS**

*Balcão Samba: Compatibilizando Estética, Fabricação e
Desempenho Estrutural com o Uso de Modelos Virtuais e
Físicos no Processo de Projeto*

Wilson Barbosa Neto, André Araujo, Guilheme Carvalho, Gabriela Celani

**71 ANÁLISE DO PROCESSO DE PERSONALIZAÇÃO
DE PROJETOS DE APARTAMENTOS NA ETAPA DE
CONSTRUÇÃO: ESTUDO DE CASO**

*Customization Process of Apartments Design Analysed During
the Construction Phase: a Case Study*

Taíssa Modesto Azevedo Falconi, Douglas Queiroz Brandão

Editorial Volume 9 Número 2 Dezembro de 2014

Fechando o ano de 2014 a revista Gestão & Tecnologia de Projetos publica o segundo número do volume nove e traz a tona cinco trabalhos de pesquisas relacionadas a gestão e a tecnologia aplicada ao projeto.

O primeiro artigo é de autoria dos professores Fabiano Rogerio Corrêa e Eduardo Toledo Santos ligados à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e tem como título *“Ontologias na construção civil: soluções para o problema de interoperabilidade com o uso do IFC”*. O trabalho e discute a interoperabilidade de informações de projeto através de dados IFC (*Industry Foundation Classes*) entre distintos softwares BIM (Modelagem da Informação da Construção), o artigo compara duas abordagens para interoperabilidade de dados: IFC (EXPRESS) convertidos em OWL (*Ontology Web Language*) ou a formalização de MVDs (*Model View Definitions*).

O segundo trabalho encartado nesta edição: *“A leitura da gramática da forma no conjunto habitacional Campinas-F da CDHU em Campinas”* é de autoria dos pesquisadores Marcelo de Moraes, Lucas Gabriel Marinho dos Santos e da professora Silvia Aparecida Mikami G. Pina, todos da Universidade Estadual de Campinas. O trabalho apresenta um estudo de caráter exploratório sobre a melhoria das rotinas de projeto com uso de sistemas generativos de projeto, gramática da forma e simulação, demonstrando a viabilidade da utilização da gramática da forma nos problemas projetuais estudados.

O artigo seguinte: *“Diretrizes para a Gestão de Projetos Industriais”* é de autoria de Tássia Farssura Lima da Silva e Silvio Burrattino Melhado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Neste trabalho são discutidos a organização e a gestão do processo de projetos industriais e se apoia em estudos de caso para identificar pontos cruciais para gestão destes projetos e propor diretrizes para incrementar a gestão desta tipologia de projetos.

O artigo intitulado *“Samba reception desk: Compromising aesthetics, fabrication and structural performance with the use of virtual and physical models in the design process”* de autoria dos pesquisadores Wilson Barbosa Neto, André Araújo, Guilherme Carvalho e da professora Maria Gabriela Celani da Universidade Estadual de Campinas. O trabalho, redigido em inglês, descreve um experimento de projeto integrado que discute através de modelos características estéticas, de fabricação, montagem e desempenho estrutural no projeto.

Fechando a edição temos o artigo *“Análise do processo de personalização de projetos de apartamentos na etapa de construção: Estudo de Caso”* dos autores Taíssa Modesto Azevedo Falconi e Douglas Queiroz Brandão da Universidade Federal de Mato Grosso. A pesquisa discute os problemas da personalização de projetos de construção e através de estudo de caso e análises propõe diretrizes e fluxograma otimizado para o processo personalização de projetos.

Esperamos que nossos leitores aproveitem e aprendam com estes trabalhos e convidados a comunidade de pesquisa ligada as temáticas da revista a submeterem trabalhos para avaliação e publicação em 2015.

Márcio Minto Fabricio
Paulo Roberto Pereira Andery
Editores
marcio@sc.usp.br
pauloandery@gmail.com
Volume 9, número 2, jul./dez. 2014

ONTOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ALTERNATIVA PARA O PROBLEMA DE INTEROPERABILIDADE COM O USO DO IFC

Ontologies in Building Construction: An Alternative to the Problem of Interoperability Using IFC

Fabiano Rogerio Correa¹, Eduardo Toledo Santos¹

RESUMO A interoperabilidade, ou seja, a possibilidade de trocar informação entre softwares distintos, de modo transparente, por meio de um modelo digital, é um dos grandes benefícios prometidos e ainda não totalmente cumpridos com a adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM). O esquema aberto de dados *Industry Foundation Classes* (IFC), criado para favorecer a interoperabilidade, foi amplamente incorporado pelas grandes empresas de software. Ele comprehende um conjunto de classes que representa um edifício em todo o seu ciclo de vida. No entanto, para contemplar as necessidades dos diferentes profissionais que lidam com o modelo, e que demandam informação e representações distintas para um mesmo elemento da construção, detalhes da implementação de certos elementos foram deixados em aberto. Assim, partes do modelo podem ser representadas de diferentes maneiras pelos diferentes aplicativos dos atores do processo, dificultando a interoperabilidade plena e gerando a necessidade de retrabalhar o modelo a cada troca. Considera-se que uma alternativa para este problema é a criação de uma camada de significado comum - uma ontologia - para regulamentar estas trocas. Neste contexto, o artigo apresenta, discute e compara duas abordagens bem distintas para solucionar o problema da interoperabilidade usando o IFC: a transformação do IFC (EXPRESS) em uma ontologia, mapeando-o na *Web Ontology Language* (OWL); e o uso do IFC com a posterior formalização da troca de informações entre diferentes disciplinas ligadas à construção seguindo as *Model View Definitions* (MVDs), que especificam que partes do IFC são pertinentes a cada troca e como o modelo deve ser preenchido com a informação. A comparação é feita em termos de quais limitações ou deficiências do IFC podem ser corrigidas com uma e outra abordagem.

PALAVRAS-CHAVE Modelagem da Informação da Construção (BIM). Interoperabilidade. IFC.

ABSTRACT Interoperability, i.e., the possibility to exchange information between distinct software, in a transparent way, by means of a digital model, is one of the major benefits promised and still not fully accomplished with Building Information Modeling (BIM) embracing. The open data schema *Industry Foundation Classes* (IFC) was created to favor interoperability and it was largely incorporated by most of the software companies. It comprehends a set of classes that represents a building in its whole life-cycle. However, to contemplate the needs from different professionals that deal with the model, and demand distinct information and representations for the same building element, many of the implementation details were not specified. Thus, parts of the model can be represented in different ways, by each of the different software used by actors in the process, making interoperability difficult and generating the necessity of manual reworking of the model at each exchange. One alternative to this problem is the creation of a layer of common meaning - ontology - to regulate the exchanges. This article presents, discusses and compares two distinct approaches for the solution of the IFC interoperability problem: transforming IFC (EXPRESS) into *Web Ontology Language* (OWL) and the formalization of *Model View Definitions* (MVDs), that are used to regulate information exchange. The base of comparison between the solutions is in terms of which limitations or deficiencies of IFC could be handled with each approach.

KEYWORDS Building Information Modeling (BIM). Interoperability. IFC.

¹Departamento de
Engenharia de Construção
Civil da Escola Politécnica
da Universidade de São
Paulo - PCC- EPUSP, São
Paulo - SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

Segundo a filosofia de trabalho colaborativo da Modelagem da Informação da Construção (BIM), são esperadas diversas trocas de informação entre os profissionais envolvidos na construção civil, por meio de modelos computacionais que representam todo um empreendimento. Neste cenário, um mesmo modelo federado, carregando informação a respeito do projeto, construção, operação e manutenção de um edifício, é partilhado entre os diferentes atores do processo, que acessam e eventualmente modificam apenas as partes do modelo que lhes são relevantes.

É vital que a interoperabilidade, ou seja, a possibilidade de troca de informação entre todas as aplicações envolvidas, funcione adequadamente para evitar a necessidade de retrabalho por parte dos profissionais. O retrabalho manual desencoraja a troca de informações entre as aplicações, impossibilita a automação destes mesmos processos de troca e aumenta a probabilidade de introdução de erros durante a cópia manual de informações de uma aplicação para outra (EASTMAN et al., 2011).

Parte importante do valor agregado ao BIM está associada à promessa de eficiência da interoperabilidade, para proporcionar um fluxo de informações/trabalho transparente entre as diferentes disciplinas dentro de um projeto (YOUNG et al., 2009). Desta maneira, a existência de modelos comuns (e, portanto, abertos) que possam ser compartilhados pelas partes interessadas num projeto de engenharia é crucial para aumentar a eficiência da colaboração na indústria da construção (BEETZ et al., 2010).

As empresas de software, que inicialmente gastavam tempo e recursos financeiros para desenvolver aplicativos para traduzir seus modelos proprietários para cada uma das outras plataformas existentes, no intuito de prover algum grau de interoperabilidade, decidiram em 1994 criar um consórcio (IAI, hoje conhecido como buildingSMART) interessado em desenvolver um modelo de dados aberto. Fruto desta iniciativa foi o *Industry Foundation Classes* (IFC), que consiste num esquema conceitual de dados e um formato de arquivo para troca de dados, contemplando todos os elementos pertinentes a um edifício em todo o seu ciclo de vida.

A indústria da construção civil e os grandes fabricantes de software têm aderido à utilização deste formato, mas o problema da interoperabilidade está longe de ser resolvido, mesmo com o emprego do IFC. As causas desta situação são muitas, mas a principal delas é inerente ao próprio IFC e, em última instância, ao próprio conceito de modelo de produto. Para atender às necessidades e especificidades das diversas áreas de profissionais envolvidos (arquitetos, engenheiros, construtores, etc.), que precisam de informação e representação diferentes para um mesmo elemento da construção dependendo do uso que se fará deles, os desenvolvedores do modelo deixaram em aberto os detalhes de implementação de alguns elementos do modelo, ou permitiram que estes elementos pudessem ser modelados de mais de uma maneira (EASTMAN et al., 2011). Deste modo, uma informação inserida por um profissional usando um software A, pode não ficar registrada quando este modelo for recebido por um profissional usando um software B. O software pode simplesmente ignorar a informação, ou a colocar num local do modelo que não é transparente ao usuário que muitas vezes nem se dá conta deste fato.

Portanto, o IFC, como todo esquema para modelagem de produtos, é rico e altamente redundante, oferecendo múltiplos modos para se definir objetos, relações e atributos. E esta é a causa da necessidade de retrabalho manual, já que as rotinas de importação e exportação dos

modelos não tem como prever como a informação foi modelada pelo software de origem, ou onde dentro do modelo uma informação específica se encontra, necessitando que o profissional ganhe a experiência de saber como cada software opera com o modelo IFC. No que diz respeito aos detalhes de implementação de partes do modelo, a buildingSMART tem aos poucos liberado documentos que são acordos formais (*Implementation Agreements*) em como modelar estes elementos dentro da liberdade permitida pelo IFC.

Além disso, outra dificuldade em se trabalhar com o IFC, e que também atrapalha a interoperabilidade, é sua abrangência e complexidade, tornando-o difícil de ser manipulado e compreendido em sua totalidade pelos profissionais responsáveis pela modelagem.

Diante deste cenário, as trocas de informações entre os profissionais do meio, que empregam diferentes softwares, tem exigido constante retrabalho manual nos modelos, atrapalhado assim a obtenção plena da interoperabilidade, e consequentemente do desenvolvimento de todo o potencial do BIM (VENUGOPAL et al., 2012).

Uma das soluções para este problema é por meio do emprego de ontologias. Uma ontologia pode ser compreendida como a formalização de conceitos referentes a um determinado contexto, usando uma linguagem específica que permite a dedução lógica de informação a partir de uma base de conhecimento.

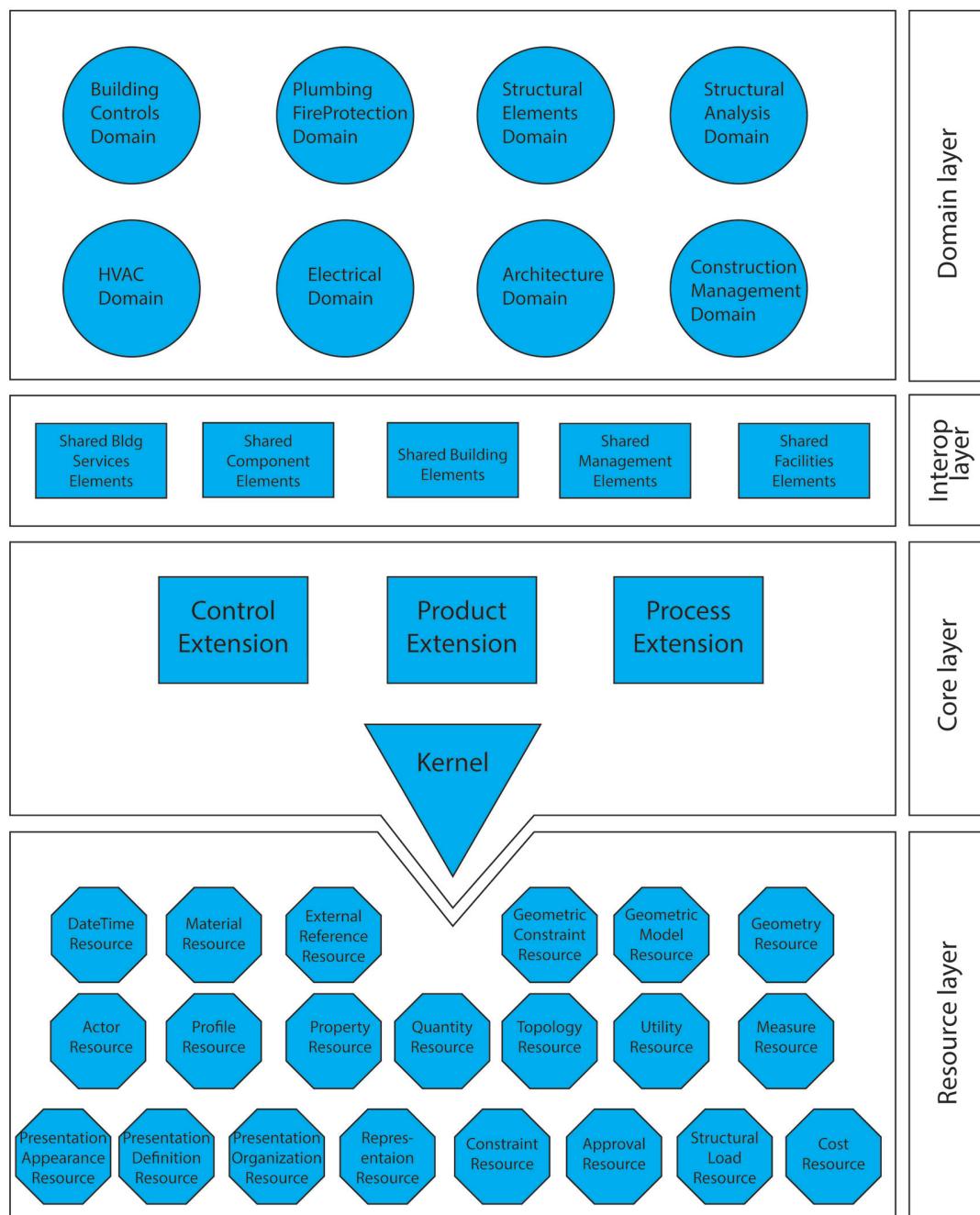
Ontologias têm sido propostas na construção civil para diferentes propósitos (ABANDA; TAH; KEIVANI, 2013). No que diz respeito à interoperabilidade, as pesquisas direcionam-se no sentido de incorporar uma camada extra de significado, onde os diferentes modelos possam ser mapeados até o nível dos detalhes, numa linguagem que é interpretada tanto pelos usuários quanto pelas máquinas. Esta camada de significado nada mais é do que um conjunto de conceitos, propriedades e relações entre os elementos pertinentes ao contexto, organizados numa hierarquia e, eventualmente, regras para a manipulação automática dos mesmos.

Neste artigo são apresentadas e comparadas duas abordagens distintas que foram propostas por diferentes pesquisadores para resolver o problema de interoperabilidade com o uso do IFC. A seção 2 é destinada à exposição do IFC e do MVD, suas definições e utilização na indústria da construção. A seção 3 é destinada a formalizar os conceitos mais importantes referentes às ontologias, e apresenta também uma breve revisão bibliográfica sobre o emprego de ontologias na área da Arquitetura, Engenharia, Construção e Gerenciamento de Facilities (AEC/FM). Na seção 4 é apresentada uma das soluções para este problema que consiste na transformação do IFC escrito em EXPRESS numa ontologia escrita em OWL – que é a linguagem adotada para a criação da Web Semântica. A Web Semântica é um novo paradigma da Internet, onde os dados têm um significado associado a eles. Esta abordagem tem o potencial de facilitar todos os processos envolvendo a manipulação do modelo. Na seção 5, apresenta-se uma alternativa, onde o IFC é usado em conjunto com os MVDs, que regem diretamente as trocas de informações entre os softwares. A proposta é a de criar-se uma ontologia no nível da criação/combinação de MVDs para regulamentar diferentes trocas. A seção 6 compara as duas propostas tomando como base quais deficiências do IFC podem ser suplantadas com uma ou outra, e a seção 7 apresenta as conclusões e futuras direções para a solução deste problema.

INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC) E MODEL VIEW DEFINITION (MVD)

O IFC foi definido na linguagem de especificação de dados EXPRESS, e em sua versão IFC4 de 2013 contém 126 definições de tipos, 206 enumerações, 59 seleções, 766 entidades, 42 funções, 2 regras, 408 conjuntos de propriedades, 91 conjuntos de quantidades e 1691 propriedades individuais (buildingSMART, 2013).

A arquitetura do esquema de dados IFC define as entidades que poderão compor os modelos BIM, bem como suas propriedades e as relações permitidas entre elas. Estas entidades foram distribuídas em quatro camadas conceituais (Figura 1):



- **Recursos:** a camada mais inferior contém as definições dos recursos, tais como a geometria, material e quantidade. Os recursos não possuem um identificador único global e por isso não podem ser usadas independentemente; existem apenas quando referenciadas direta ou indiretamente pelas entidades das camadas superiores;
- **Núcleo:** contém as definições das entidades mais gerais como, por exemplo, os conceitos relacionados aos produtos físicos (*IfcBuilding*). A partir desta camada, as entidades recebem um identificador único global, com a opção de registro de informações sobre o criador da entidade e todo o seu histórico;
- **Interoperabilidade:** contém definições que são específicas a um produto, processo ou recurso geral que são utilizados entre diferentes disciplinas, como troca de informações entre domínios e compartilhamento de informações da construção. As entidades parede, coluna e janela, por exemplo, fazem parte desta camada e possuem uma geometria associada. Constituem o projeto arquitetônico e da estrutura do prédio, sendo centrais na troca de dados do projeto;
- **Domínios:** a camada mais superior inclui definições de entidades que são especializações de produtos, processos e recursos específicos para certa disciplina.

Observa-se, portanto, que existe um significado implícito às entidades, onde todos os envolvidos num projeto de construção civil estão de acordo. Mas no nível dos detalhes como, por exemplo, para a fabricação dos elementos, o IFC não estabelece um controle rigoroso, ou seja, não provê uma maneira única de se realizar a modelagem, o que atrapalha a interoperabilidade. Assim, o IFC não constitui-se numa ontologia quando o contexto, que está sendo considerado no presente artigo, é o dos sistemas de base de conhecimento (*Knowledge Base Systems - KBS*); o IFC pode ser entendido como uma ontologia no contexto de conhecimento factual de domínio (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON; BENJAMINS, 1999)¹.

Como diferentes profissionais necessitam de partes distintas do modelo, ou até mesmo dos mesmos elementos, mas com informação e representação diferenciadas, percebeu-se então que para favorecer a interoperabilidade com o uso do IFC era necessário determinar um modo de especificar e acessar apenas as partes relevantes do modelo para cada uma das possíveis trocas de informação.

Para resolver este último problema, foi criado em dezembro de 2007, uma nova especificação, chamada de *Model View Definition* (MVD), que define subconjuntos do esquema IFC e provê conselhos sobre como implementar os conceitos envolvidos em cada troca. No entanto, poucas trocas foram implementadas para o IFC2x3, e para o IFC4 as especificações ainda não foram disponibilizadas (VENUGOPAL et al., 2012).

Os MVDs foram concebidos como uma parte autocontida do esquema IFC, um subconjunto específico para um determinado uso ou troca de informação. Mas novamente, não existe uma maneira automática de se gerar ou até mesmo organizar os MVDs dentro das inúmeras trocas necessárias para os processos BIM. Organizações e grupos de trabalho tem se dedicado a sistematizar este processo de criação das MVDs e focado no desenvolvimento de MVDs específicos.

Segundo o National BIM Standard-US (NBIMS), a criação do MVD deve seguir um processo que consiste em 13 passos a serem realizados, dentro de quatro fases:

¹ A diferença principal é que no primeiro caso, espera-se usar a ontologia para fazer inferências, e no segundo apenas para sistematizar um vocabulário ou uma representação de um domínio.

- Formação de um grupo de trabalho e identificação do escopo e do contexto das trocas de informações envolvidas no caso (criação do Manual de Entrega de Informações – *Information Delivery Manual (IDM)*);
- Os requisitos de troca identificados no IDM são estruturados num conjunto de módulos de informações, chamado Conceitos;
- Implementação das vistas do modelo pelas companhias de software;
- Desenvolvimento de diretrizes para documentação de vistas do modelo dentro de cada aplicação de suporte.

Estas são apenas duas das mais importantes especificações propostas pela buildingSMART, e que têm se desenvolvido ao longo do tempo e integrado os processos BIM das maiores empresas de software.

ONTOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Uma ontologia é uma descrição formal e explícita de conceitos, suas propriedades e relações, que permite uma série de funcionalidades: podem ser dinamicamente adaptadas de acordo com os dados, compartilhadas, ser associadas a modelos maiores e usadas para deduzir conhecimento quando existem incertezas e os dados são limitados (AKSAMIJA; GOBLER, 2007). Neste sentido, é importante destacar novamente que o IFC, assim como outros modelos de dados, apesar de incluir semântica, não se configura numa ontologia.

Volk, Stengel e Schultmann (2014) fizeram uma revisão de trabalhos referentes ao uso do BIM. Uma das quatro categorias criadas para sistematizar as pesquisas diz respeito justamente ao problema da interoperabilidade e do formato de dados IFC, demonstrando sua importância no meio. Além disso, Abanda, Tah e Keivani (2013) investigaram as pesquisas no ambiente construído relacionadas à Web Semântica, onde dentre outras tecnologias se inclui o emprego de ontologias. Apesar de faltar uma análise mais aprofundada do assunto, o artigo lista uma grande quantidade de trabalhos na área, onde a maioria emprega ontologias, de uma forma ou de outra, para resolver os mais diferentes problemas encontrados na Construção. Da coletânea retratada, pode-se destacar alguns trabalhos para ilustrar o potencial que o uso de ontologias pode trazer para as aplicações na construção civil e, em especial, na resolução do problema de interoperabilidade.

Aksamija e Gobler (2007) apresentam uma ontologia para representar toda informação necessária no projeto arquitetônico de edifícios altos, explicitando os conceitos mais importantes e suas interrelações. Esta ontologia é apenas um dos passos necessários para se propor um sistema que produza alternativas de projeto automaticamente, segundo os requisitos e restrições dados.

Cheng, Trivedi e Law (2002) propõem o mapeamento de “ontologias” nos formatos PSL, ifcXML e aecXML para que seja possível trocar informações entre softwares distintos, não importando o formato em que o modelo foi criado, visando o gerenciamento de projetos e planejamento.

Cruz, Marzani e Boochs (2007) criaram um sistema que, com o auxílio de entradas do usuário, permite reconhecer objetos da construção, definidos segundo o IFC, a partir de uma nuvem de pontos obtidas por um sensor de varredura laser. Este sensor é usado para obter medidas rápidas e precisas do ambiente para a construção da documentação e representação do edifício conforme construído (*as built*). O reconhecimento é guiado por meio de uma ontologia que representa a estrutura espacial do ambiente e a semântica dos elementos que constituem uma edificação.

El-Mekawy e Östman (2010) abordam o problema da interoperabilidade no contexto da modelagem tridimensional de cidades, onde são muito usados o IFC (para o BIM) e o CityGML (para o Sistema de Informação Geográfica - GIS). Por terem representações diferentes para os mesmos elementos, e por terem um escopo distinto, onde o IFC lida com edifícios, e o CityGML com conjuntos de edifícios formando cidades, é necessário criar uma ontologia para formalizar as representações e permitir que um modelo possa ser lido e representado usando qualquer um dos dois formalismos.

Han, Jeong e Lee (2011) propõem um sistema de gerenciamento de energia para edifícios, buscando assim obter uma maior eficiência energética no seu funcionamento. A arquitetura do sistema consiste num conjunto de sensores que coletam dados acerca do atual estado dos equipamentos. Estes dados alimentam rotinas de inferência que, com o emprego de quatro ontologias (arquitetura, contexto, causa e controle), analisam o contexto da edificação e decidem se o estado atual do edifício está normal ou anormal, e envia comandos de controle de acordo com a situação.

Kim e Gobler (2009) criaram uma ontologia (OWL) para prover uma verificação de consistência na coordenação de projeto dentro do paradigma do BIM (IFC). Usando uma ontologia, é possível representar as restrições e os requisitos de projetos, e usá-la para validar o projeto conforme ele sofre alterações nas muitas interações por diferentes profissionais.

Lima, EL-Diraby e Stephens (2005) apresentam a plataforma e-COGNOS, parte de uma iniciativa europeia para a introdução de uma base de conhecimento referente aos processos da construção para auxiliar no gerenciamento da informação. A plataforma consiste num portal que provê serviços pela Web, com base nas tecnologias SOAP, UDDI, WSDL e XML. Estes serviços aceitam ontologias ou modelos de dados (como o IFC) para lidar com sete atividades principais: aquisição, transformação, indexação, atualização, reparo, busca/recuperação, e compartilhamento/disseminação.

Schevers et al. (2007) combinam a utilização do IFC, para representar o Sydney Opera House, e RDF/OWL, como tecnologias ligadas à Web Semântica, num protótipo para gerenciamento de *facilities*, permitindo e facilitando o acesso à informação e ao cruzamento de dados de diferentes fontes (códigos de obras, bases de dados de *benchmark* e sistemas de informação), obtendo assim o que foi chamado de “modelo digital da *facility*”.

Entende-se que o uso de ontologias, num contexto onde existem mais de um tipo de especificação de dados, é a solução mais adequada, permitindo a interoperabilidade entre softwares com diferentes funcionalidades.

ELEVANDO O IFC A UMA ONTOLOGIA

A primeira proposta a ser analisada é a de Beetz, Leeuwen e Vries (2009) que cria uma camada de significado sobrepondo o IFC. Em seu artigo, demonstraram os benefícios de transformar o IFC numa ontologia. Nesta mesma linha, propostas mais gerais, de se transformar modelos de produtos em EXPRESS para *Web Ontology Language* (OWL), também foram consideradas por outros pesquisadores (SCHEVERS; DROGEMULLER, 2005; ZHAO; LIU, 2008; BARBAU et al., 2012).

Por ser um trabalho contemporâneo à especificação dos MVDs por parte da buildingSMART, numa época em que a preocupação era grande por trabalhar-se um modelo grande e complexo como o IFC, a aplicação proposta de Beetz, Leeuwen e Vries (2009) é a de justamente criar, por meio de buscas realizadas na ontologia, subconjuntos do esquema IFC.

Uma ontologia é formada por um conjunto de conceitos formalizados numa linguagem lógica, como por exemplo, cálculo de predicados (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON; BENJAMINS, 1999), que estabelece como as sentenças envolvendo os conceitos podem ser construídas, e como novas sentenças podem ser deduzidas quando é considerado todo o conhecimento representado. Os conceitos podem apresentar estruturas internas diferentes entre si, e a própria ontologia costuma ser representada por uma hierarquia, o que permite a existência de um mecanismo de classificação para os seus elementos.

A dedução de novas sentenças está relacionada à transformação de um conhecimento implícito em explícito. A manipulação destas sentenças e a realização de processos de decisão podem ser feitas por ferramentas computacionais gerais, que atuam sobre as lógicas subjacentes, encontradas no mercado, dando assim acesso a diversas funcionalidades sem um custo de desenvolvimento extra.

Esta é uma das grandes vantagens em se trabalhar com ontologias. Do contrário, estas funcionalidades só poderiam ser obtidas por meio de implementação específica por parte das grandes empresas de software.

Mais especificamente, Beetz, Leeuwen e Vries (2009) propõem transformar os elementos do IFC numa ontologia definida em OWL, que tem como base as lógicas de descrição (BAADER et al., 2003). As lógicas de descrição (DL) formam um grupo de lógicas onde existe um compromisso entre a sua expressividade (coisas que se consegue representar com ela) e se ela é decidível, ou seja, o quanto é possível deduzir de suas asserções sem incorrer em cálculos infinitos.

Uma DL é formada por uma TBox, um conjunto de sentenças (conceitos e papéis) que formam uma terminologia e que representa a ontologia ou o conhecimento sobre o mundo, e uma ABox, que é povoada com instanciações ou asserções que são feitas com base nos conceitos. A terminologia diz o que existe em termos abstratos e as asserções são a concretização destes termos.

Numa lógica de descrição, cada sentença forma um grupo de indivíduos ou entidades que respeitam certas restrições. Além dos conceitos, cada lógica de descrição é diferenciada pelos construtores que podem ser aplicados para formar sentenças, e daí a possível variação na expressividade e no fato da lógica ser ou não ser decidível. A lógica de descrição empregada por Beetz, Leeuwen e Vries (2009) é a *SHIQ(D)* (HORROCKS; PATEL-SCHNEIDER; VAN HARMELEN, 2003).

MAPEAMENTO DO IFC EM OWL

Como o EXPRESS e o OWL são linguagens distintas, é necessário determinar como cada elemento de uma será transformado em elemento da outra. Algumas transformações são diretas; em outras, por poderem ser feitas de mais de uma maneira, implicando benefícios de um lado e limitações de outro, é necessário analisar e escolher com cuidado cada transformação.

Dentre os elementos presentes no IFC, foram propostas traduções para:

- Entity:

São as próprias entidades do modelo, com um conjunto de atributos e restrições próprios. Aqui a tradução é direta: para cada ENTITY deve ser criada uma owl:Class em OWL, representando um conceito na TBox. Na ontologia, é necessário classificar posteriormente estes conceitos num eixo que determina quais conceitos são mais gerais e quais são mais específicos. As relações SUBTYPEOF e SUPERTYPEOF, presentes no IFC, são transformadas em relações rdfs:subClassOf. O que não é possível mapear diretamente é

ABSTRACT SUPERTYPEOF, já que não existe em OWL um mecanismo para prevenir a instanciação de uma entidade abstrata.

- Select Types:

Permitem que um atributo possa ser de um conjunto específico de tipos ou entidades. Esta característica pode ser conseguida por uma referência à união do domínio owl:ObjectProperty.

- Types:

É proposta a criação de classes para encapsular os tipos de dados simples em EXPRESS (inteiro, real, string) e a determinação de subtipos derivados destas classes. Cada uma destas classes tem uma única owl:DatatypeProperty com um alcance de acordo com o tipo do esquema XML.

- Attributes:

Os atributos devem ser transformados em papéis, que conectam as classes conceituais na lógica de descrição. Um problema existente é que os nomes de atributos em EXPRESS são locais, mas as propriedades em OWL são globais, o que pode gerar algum conflito de nome em modelos grandes como o IFC. Dentre as soluções possíveis, sugere-se transformar atributos com o mesmo nome, mas de tipos diferentes, em owl:ObjectProperty com ambos os tipos incluídos no seu alcance e ambas as classes no seu domínio.

- Enumerations:

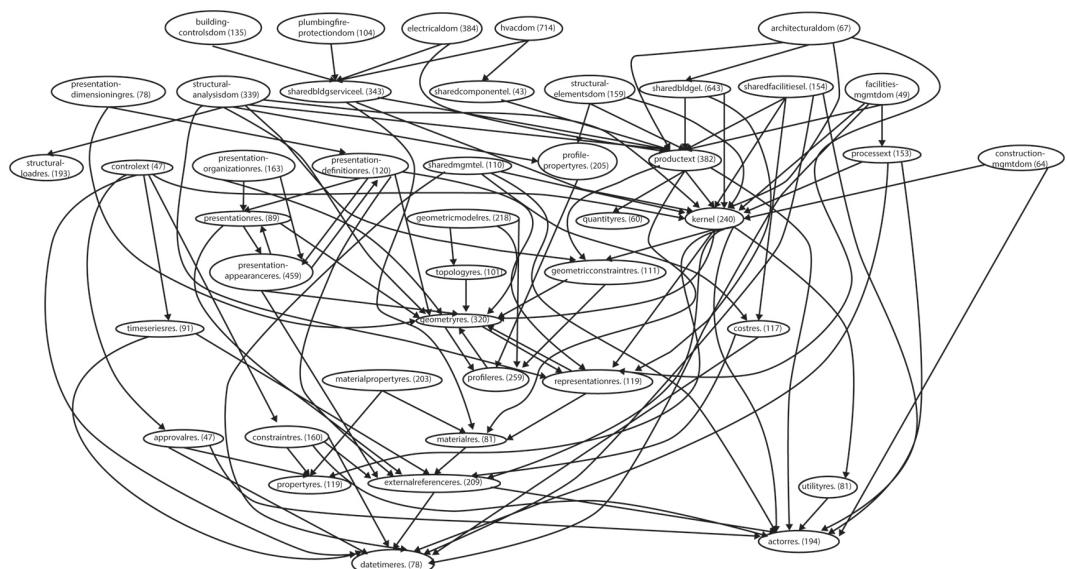
As enumerações, que são listas de valores possíveis, podem ser transformadas em owl:oneOf.

- Collections e n-ary relations:

Um dos requisitos importantes para se trabalhar com ontologias é a capacidade de representar de maneira ordenada coleções de instâncias de conceitos. Uma solução é utilizar apenas a parte da linguagem DL presente no OWL, criando uma owl:Class com duas propriedades de objeto para armazenar referências ao valor atual e ao próximo membro da lista. Com uma quantificação universal que restringe os membros a um determinado conceito, assegura-se ter criado uma lista ordenada. No entanto, as deduções com esta solução são limitadas.

A Figura 2 ilustra a ontologia criada a partir do IFC, seguindo o mapeamento dado acima. A base para a criação desta ontologia foi a arquitetura do modelo IFC, dividido nas quatro camadas apresentadas na Figura 1.

Figura 2. Ontologia IfcOwl.
Fonte: (BEETZ; LEEUWEN; VRIES, 2009).



As elipses representam agrupamentos necessários para isolar partes do modelo em espaços distintos, permitindo assim uma maior eficiência para buscas e inferências na ontologia.

Na Figura 2, as elipses estão representando conjuntos de conceitos presentes na TBox e as setas ou arcos representam a hierarquia entre os conceitos. Os conceitos representados na Figura 2 correspondem às camadas de domínio, interoperabilidade, recursos, e central do IFC2x3, que agrupam todas as demais entidades presentes no IFC. Por exemplo, o esquema Domínio:Arquitetura relaciona-se com a camada de interoperabilidade por meio da SharedBuildingElement, e das camadas núcleo Extensão do Produto (ProductExtension) e Kernel e, finalmente, com a camada de recursos por meio da *Representation Resources*.

A abordagem adotada é o agrupamento tanto da TBox quanto da ABox segundo fronteiras semânticas definidas num arquivo de mapeamento ou determinada por um uso individual específico, com a ajuda de uma ferramenta computacional. Este objetivo pode ser alcançado dentro da OWL, pois seus níveis inferiores são o XML e o RDF², onde os recursos podem estar em localidades diferentes. Um problema com esta abordagem é que para se referenciar em OWL entidades de agrupamentos diferentes é necessário importar todo o conteúdo e não apenas as entidades desejadas, o que vai de encontro à iniciativa da separação.

Os agrupamentos podem ser realizados de diversas formas diferentes. Se partitionar a TBox em vários espaços já traz benefícios, sendo que ela é composta por centenas ou milhares de afirmações, com uma ABox o ganho pode ser ainda maior já que ela pode ser composta facilmente por milhões de afirmações. Foram discutidas quatro maneiras de fazer esta partição:

- *oAoT* – uma ABox e uma Tbox: tanto as definições de conceitos quanto suas asserções estão numa mesma partição, dentro de um *namespace* único;
- *oAnT* – uma ABox e n Tboxes: as definições de conceitos residem em *namespaces* e recursos diferentes. Aqui há pouca necessidade para lidar com ambiguidade na nomenclatura;
- *nAoT* – n ABoxes e uma Tbox: dividir as asserções em várias partições, como por exemplo deixar de fora a informação irrelevante e, portanto, as deduções só considerarão as informações requeridas;
- *nAnT* – n Aboxes e n Tboxes: é a solução com maior grau de liberdade, mas que exige um gerenciamento melhor.

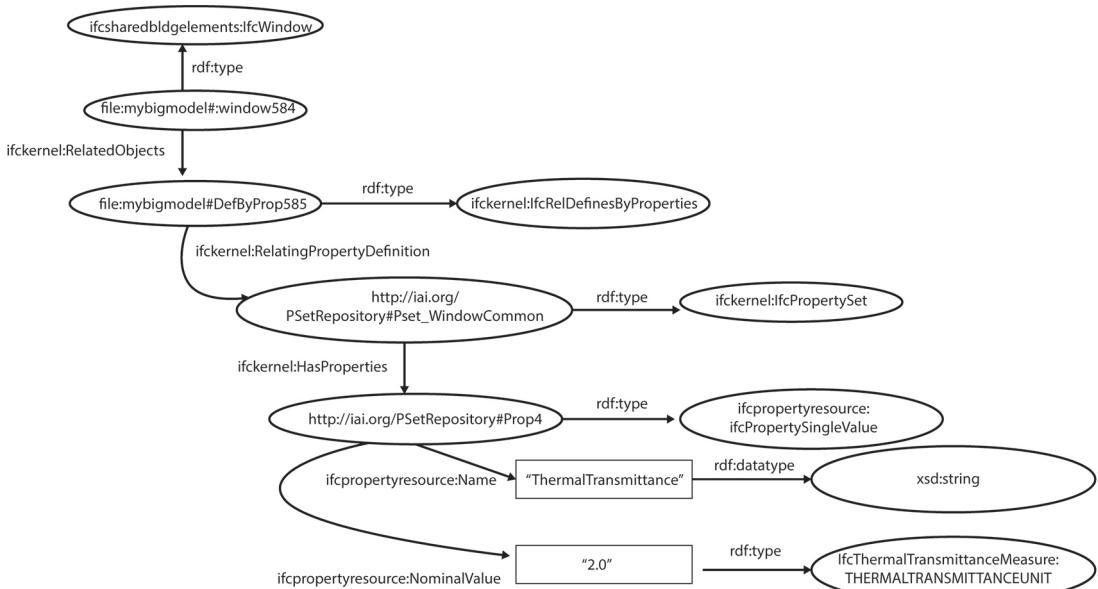
Os autores trabalharam com o agrupamento *nAnT*, e conseguiram implementar, por meio de buscas na ontologia, maneiras diferentes de se partitionar o modelo.

Um exemplo prático é a extração da informação mínima para um sistema de apoio a tomadas de decisão que necessite do valor de transmitância térmica de todas as janelas do projeto de uma edificação. A Figura 3 representa o grafo desta informação, que foi extraído automaticamente da ontologia apresentada inicialmente.

CONCEITOS (IFC-MVD) COMO SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DA INTEROPERABILIDADE

Venugopal et al. (2012) apresentam uma solução alternativa para o problema da interoperabilidade com o IFC, partindo do princípio de que é necessário criar uma camada de significado acima do próprio IFC, entre ele

² Extensible Markup Language (XML) e Resource Description Framework (RDF) são modelos de meta-dados para descrição de conceitos ou modelagem da informação implementada em recursos na rede.



e o processo de criação dos MVDs. Assim, é quando da determinação de quais partes do modelo são relevantes em trocas de informações específicas que se deve introduzir um significado ou um rigor na definição de como cada entidade do IFC envolvida deve ser implementada.

O artigo de Venugopal et al. (2012) concentra-se nas fases 2 (estruturação em um conjunto de módulos de informação dos requisitos de troca identificados no IDM) e 3 (implementação das vistas do modelo pelas empresas de software) da criação de uma MVD segundo o NBIMS, ilustrando como devem ser construídos o IDM e como devem ser implementadas as entidades do IFC no MVD. A ideia é criar módulos ou como os autores denominam Conceitos (*Concepts*), que possam ser combinados formando diferentes conjuntos para cada troca específica. A experiência retratada neste trabalho advém de consultoria realizada para a indústria de pré-moldados para fachadas (SACKS et al., 2010).

Com o objetivo de formalizar como estes Conceitos deveriam ser criados, os autores analisam as possíveis maneiras de impor uma estrutura nas entidades envolvidas nas trocas de informações entre diferentes disciplinas. Assim, tem-se um amplo espectro de soluções:

- De um lado, um modelo de troca poderia conter apenas a geometria sólida básica e dados do material acerca do edifício. As rotinas de **exportação** neste nível são simples e as trocas genéricas. Para este caso, para qualquer uso além de uma verificação de interferência entre as geometrias modeladas, o software que **importar** o modelo precisará interpretar a geometria e associar um significado usando representações dos objetos recebidos em termos de seus próprios objetos nativos.
- No outro extremo, um arquivo de troca semanticamente rico pode ser estruturado para representar agregações de partes de um mesmo tipo ou hierarquias que definem intenção, agrupamentos de aquisições, métodos de produção etc. Assim, com base em bibliotecas de perfis, peças de catálogo, acabamentos de superfície, e materiais que transportam semântica, o software de **importação** pode gerar objetos nativos no seu próprio esquema com esforço mínimo, comparando a estrutura recebida com as pré-definidas, e não necessita da geometria explícita ou

Figura 3. Parte da ontologia extraída. Fonte: (BEETZ; LEEUWEN; VRIES, 2009).

outros dados em todas as trocas de informação. A rotina de exportação neste nível deve ser cuidadosamente customizada para cada caso, já que a informação deve ser estruturada para que seja adequada para as aplicações importarem.

Os autores listam quatro peças-chave do processo, no sentido de prover esta camada de significado por meio da estruturação das entidades e de uma hierarquia entre as mesmas.

ATRIBUIÇÕES DE TIPOS E HERANÇA

O IFC impõe um sistema fraco de tipos, permitindo representações polimórficas (referências a classes abstratas, quando implementadas, podem representar diferentes classes concretas, desde que ambas derivem da abstrata), mas restringindo-se à herança singular. Até a implementação da entidade *IfcElementAssemblyType* no IFC4, não havia a possibilidade de criação de arranjos de arranjos no nível do tipo.

O emprego de um sistema forte de tipos permite a imposição de restrições e consequentemente força a correção das entidades e permite a classificação dos objetos segundo um esquema de modelagem definido.

Três abordagens são possíveis:

- Toda informação no modelo de troca é dada explicitamente;
- Estabelecer uma estrutura hierárquica que é desenhada para atender às necessidades de uma troca particular entre duas ferramentas de software específicas;
- Utilização de herança múltipla.

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Sistemas de classificação são uma alternativa para estruturar os dados nos arquivos de troca, mas no IFC esta classificação não é dada claramente.

GEOMETRIA

Existem diversas maneiras de se especificar a geometria de objetos tridimensionais. A escolha adequada está relacionada ao uso que se fará dela. Formas mais abstratas são necessárias para certos tipos de simulação enquanto formas mais detalhadas e precisas são essenciais para a fabricação de peças. Algumas destas formas de representação da geometria são: representação por fronteiras (B-rep), extrusões, CSG (Geometria Construtiva Sólida) e ainda, no IFC4, NURBS.

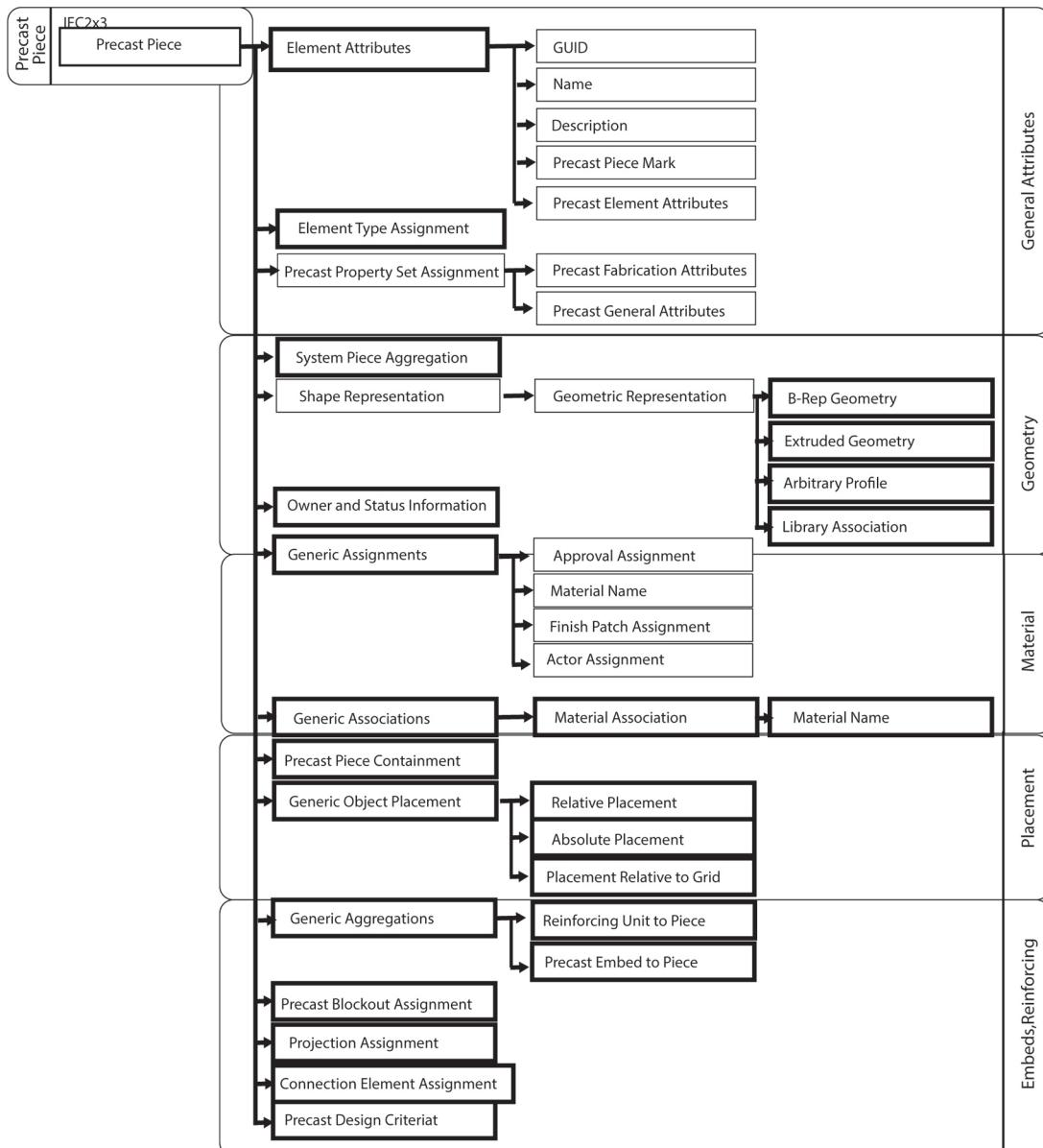
RELAÇÕES E REGRAS

O *schema* IFC não determina o comportamento de suas entidades dentro das aplicações, não aplica restrições paramétricas ou conserta um comportamento. Isto é deixado para a lógica interna de cada aplicação, conforme explícito na definição da relação *IfcRelAggregates*: “O comportamento imposto pela relação de dependência deve ser estabelecido dentro das aplicações” (buildingSMART, 2013). Desta maneira, aplicações diferentes podem considerar comportamentos distintos para as relações e atrapalhar a interoperabilidade no que diz respeito à modelagem dos objetos.

Apesar da importância das relações no IFC, tais como *IfcRelAggregates* e *IfcRelDefines* (existem 48 relações nas especificações do IFC4), para uma atribuição de semântica existe uma falta de detalhamento de como utilizá-las corretamente, causando um emprego errôneo das mesmas.

Da mesma maneira, a condição de elementos inseridos dentro de outros também não é determinada como, por exemplo, quando o volume do objeto inserido deve ser subtraído do volume do elemento que o contém.

A Figura 4 mostra uma vista do modelo IFC, onde constam as entidades relevantes e necessárias para a troca de informações entre o projetista e o fabricante da peça de concreto.



ANÁLISE DO PROBLEMA

Parece que existe um consenso na identificação dos pontos frágeis do esquema IFC que impedem atualmente o aproveitamento de todo o potencial da interoperabilidade propagandeado com a adoção do BIM. No entanto, as soluções para este problema não são únicas, e é difícil determinar se uma determinada solução é mais adequada para todas as possíveis utilizações do modelo.

Beetz, Leeuwen e Vries (2009) alteraram o IFC para transformá-lo em ontologia, e com isso ganhar automaticamente diversas funcionalidades,

Figura 4. Um exemplo de vista do modelo de uma peça de concreto pré-fabricada. Fonte: (VENUGOPAL et al., 2012).

dentre elas a capacidade de particionar um modelo extenso e complexo como o usado no BIM para atender às necessidades específicas dos usuários por apenas uma parcela dos elementos representados. Esta função principal apresentada no artigo para a ontologia acabou por ser resolvida com a criação das MVDs, o que não inviabiliza ou diminui a importância do trabalho realizado por eles. Muitas funcionalidades que podem ser adquiridas com a adoção do BIM, como maior automação em diferentes processos, poderiam ser obtidas segundo a metodologia apresentada. Em tese, não há como ter um processo automático a partir de modelos de dados heterogêneos sem que exista uma ontologia que integre ou mapeie uns nos outros. O maior desafio é encontrar a linguagem adequada, que possua a capacidade de representar todos os detalhes necessários do contexto em questão, e ainda seja capaz de ser útil em tarefas de recuperação de informação, integração, participação, e assim por diante. A linguagem apresentada no artigo não consegue capturar toda a riqueza do IFC, mas é útil para extrair informações dele.

Já Venugopal et al. (2012) atuam diretamente no processo de especificação das MVDs, propondo uma camada adicional de Conceitos, onde estariam formalizadas partes das trocas diretamente em IFC, de um jeito único, quando o subconjunto em questão está bem definido por todos os atores do processo. Por trabalhar em acordo com a direção escolhida pela própria buildingSMART, e assim do mercado da construção civil, parece que os desenvolvimentos futuros serão tomados nesta direção. O grande limitante é que não existe ainda uma solução apropriada para a criação destes Conceitos que compostos formariam os MVDs: o artigo apenas discute a ideia e propõe uma forma para criar e organizá-los, dando o exemplo para estruturas de concreto pré-fabricadas. Seria interessante ver como os Conceitos criados para este tipo de troca poderão ser úteis em outras trocas.

A Tabela 1 sistematiza a comparação das duas abordagens.

Assim, ambas as soluções, no fundo, atuam sobre as mesmas lacunas presentes no esquema IFC e constatam que o problema da interoperabilidade deve ser resolvido com a introdução de um rigor maior na especificação das entidades modeladas. Este rigor está relacionado à construção de uma ontologia, cuja função é melhor explorada em sua potencialidade pelo primeiro trabalho.

Com o lançamento da sua versão mais recente (em 12 de março de 2013), os desenvolvedores do IFC4 procuraram integrar as especificações do IFC com outros desenvolvimentos da própria buildingSMART, como ifcXML

Tabela 1. Comparação entre as abordagens analisadas neste artigo.

Características	Beetz, Leeuwen e Vries (2009)	Venugopal et al. (2012)
IFC	Transforma o IFC em IfcOWL	Mantém o IFC
MVD	A função do MVD pode ser obtida pelo IfcOWL	Propõe uma metodologia de criação de Conceitos que ligam o IFC ao MVD
Tamanho do IFC	Usando o IfcOWL pode-se particionar o modelo	O modelo é particionado pelos Conceitos, que combinados formam os MVDs
Redundância do IFC	Em teoria, desaparecem com a criação do IfcOWL	Usa as definições do MVD (via Conceitos)
Ponto negativo	Não representa com fidelidade todo o IFC	Depende da definição manual de todas as trocas possíveis
Ponto positivo	É capaz de extrair informação do modelo, ou seja, fazer inferências	Sistematiza e agiliza a criação e organização de MVDs

Fonte: Elaborado pelos autores.

simples, a nova metodologia mvdXML, o dicionário de dados (os *property sets* e as *property definitions* estão incluídas no bsDD - antes conhecido como IFD), e o desenvolvimento do ifcDoc. Mas o cerne da questão de falta de interoperabilidade não foi completamente tratado.

É preciso observar na prática, conforme esta nova versão for sendo implementada e utilizada pelos profissionais da construção, se as mudanças, mesmo que indiretamente, auxiliam os usuários no sentido de guiá-los na direção de acordos sobre como se representar determinadas entidades.

CONCLUSÕES

Foram apresentados dois exemplos do uso de ontologias como uma alternativa para resolver o problema da falta de interoperabilidade adequada no fluxo de trabalho proposto no BIM. O uso de ontologias neste contexto altera a forma de se trocar a informação presente nos modelos (exportação e importação) entre os softwares envolvidos em projetos que usam o BIM. Dentro do espectro de soluções possíveis que usam ontologias, os exemplos apresentados encontram-se em extremos opostos.

De um lado, pode-se alterar o próprio IFC, de maneira a completá-lo pela tradução para uma representação mais rigorosa, um formalismo lógico (ou lógica de descrição) e desta maneira beneficiar-se com a utilização das ferramentas existentes que manipulam e extraem conhecimento a partir de deduções e inferências lógicas, e manipulação de representação de conhecimento (*knowledge representation*).

Por outro lado, já que tem se tornado parte do fluxo de trabalho com o BIM que toda troca de informação deve ser realizada por meio dos MVDs, pode-se trabalhar com o IFC e um conjunto de Conceitos, representando partes específicas destas trocas. A criação destes Conceitos e a posterior combinação e reutilização dos mesmos, podem dar flexibilidade e riqueza na representação dos modelos.

O problema da interoperabilidade com o IFC parece estar longe de uma solução definitiva. A solução proposta no primeiro artigo seria a mais apropriada do ponto de vista teórico e computacional, mas existem problemas reais em termos de se combinar uma representação expressiva e completa do IFC e ainda assim ser capaz de automaticamente extraír e manipular a informação presente num modelo tão grande. A solução proposta no segundo artigo parece caminhar mais na direção e na metodologia que tem sido comum na área da construção. No entanto, da forma com que o processo de criação de novos MVDs se desenvolve, não se poderá colher os benefícios a curto prazo: é um processo incremental de resolução uma a uma das trocas que tem demonstrado serem as mais importantes.

REFERÊNCIAS

- ABANDA, F.; TAH, J.; KEIVANI, R. Trends in built environment semantic Web applications: Where are we today? *Expert Systems with Applications*, v. 40, p. 5563-5577, 2013.
- AKSAMICA, A.; GOBLER, F. Architectural ontology: Development of machine-readable representations for building design drivers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2007, Pittsburgh. *Proceedings*... Reston: American Society of Civil Engineers, 2007. p. 168-175, 2007. [http://dx.doi.org/10.1061/40937\(26\)21](http://dx.doi.org/10.1061/40937(26)21)
- BAADER, F. et al. **The description logic handbook**: Theory, Implementation and Applications. New York: Cambridge University Press, 2003.
- BARBAU, R. et al. OntoSTEP: Enriching product model data using ontologies. *Computer-Aided Design*, v. 44, n. 6, p. 575-590, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2012.01.008>.

- BEETZ, J. et al. **Towards an open Building Information Model server**. Technical Report, 2010.
- BEETZ, J.; LEEUWEN, J. V.; VRIES, B. IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 23, n. 1, p. 89-101, 2009. <http://dx.doi.org/10.1017/S0890060409000122>
- buildingSMART. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/index.htm>>. Acesso em: 04/02/2013.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J.; BENJAMINS, V. What are ontologies, and why do we need them? **IEEE Intelligent Systems and their Applications**, v. 14, n. 1, p. 20-26, 1999. <http://dx.doi.org/10.1109/5254.747902>
- CHENG, J.; TRIVEDI, P.; LAW, K. Ontology mapping between PSL and XML-based standards for project scheduling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION, 3., 2002, **Proceedings** ...
- CRUZ, C.; MARZANI, F.; BOOCHS, F. Ontology-driven 3D reconstruction of architectural objects. **Computer Vision Theory and Applications**, p. 47-54, 2007.
- EASTMAN, C. et al. **BIM handbook** – A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- EL-MEKAWY, M.; ÖSTMAN, A. Semantic mapping: an ontology engineering method for integrating building models in IFC and CityGML. In: ISDE DIGITAL EARTH SUMMIT, 3., 2010. **Proceedings** ...
- HAN, J.; JEONG, Y.-K.; LEE, I. Efficient building energy management system based on ontology, inference rules, and simulation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT BUILDING AND MANAGEMENT, 2011, **Proceedings** ... p. 295-299.
- HORROCKS, I.; PATEL-SCHNEIDER, P. F.; VAN HARMELEN, F. From SHIQ and RDF to OWL: the making of a Web Ontology Language. **Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web**, v. 1, n. 1, p. 7-26, 2003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.websem.2003.07.001>
- KIM, H.; GROBLER, F. Design coordination in Building Information Modeling (BIM) using ontological consistency checking. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2009, Austin. **Proceedings**... Reston: American Society of Civil Engineers, 2009. p. 410-420, 2009.
- LIMA, C.; EL-DIRABY, T.; STEPHENS, J. Ontology-based optimization of knowledge management in e-construction. **ITCon**, v. 10, p. 305-327, 2005.
- NBIM-US. National BIM Standard-US. Disponível em: <http://www.nationalbimstandard.org/>. Acesso em: 04/02/2013
- SACKS, R. et al. The Rosewood experiment - Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. **Automation in Construction**, v. 19, p. 419-432, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.012>
- SCHEVERS, H.; DROGEMULLER, R. Converting industry foundation classes to the Web Ontology language. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SEMANTICS, KNOWLEDGE AND GRID, 1., 2005, **Proceedings** ... p. 27-29.
- SCHEVERS, H. et al. Towards digital facility modeling for Sydney Opera House using IFC and Semantic Web technology. **ITCon**, v. 12, p. 347-362, 2007.
- VENUGOPAL, M. et al. Semantics of model views for information exchanges using industry foundation class schema. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 411-428, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.005>
- VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- YOUNG, N. et al. **The business value of BIM**: getting Building Information Modeling to the bottom line. New York: McGraw-Hill Construction, 2009. (Technical Report).
- ZHAO, W.; LIU, J. K. OWL/SWRL representation methodology for EXPRESS-driven product information model: Part I. Implementation methodology. **Computers in Industry**, v. 59, p. 580-589, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2008.02.002>.

Correspondência

Fabiano Rogerio Correa, fabiano.correa@usp.br
Eduardo Toledo Santos, etoledo@usp.br

A LEITURA DA GRAMÁTICA DA FORMA DO CONJUNTO HABITACIONAL CAMPINAS F DA CDHU EM CAMPINAS

Shape Grammar Reading of Social Housing Campinas F of CDHU in Campinas

Marcelo de Moraes¹, Lucas Gabriel Marinho dos Santos²,
Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina²

RESUMO A gramática da forma constitui uma importante ferramenta que pode dar suporte para futuros estudos e melhor qualidade em conjuntos habitacionais, especialmente quanto a implantação e inserção urbana. A utilização de sistemas generativos de projeto pode aperfeiçoar uma série de rotinas de projeto, potencializando seu uso com outras ferramentas de informática. Este trabalho apresenta os resultados de um estudo exploratório com uso de sistema generativo de projeto em processo de simulação e imersão, por meio do qual se pode avaliar o desenvolvimento e as alterações do projeto de implantação de conjunto habitacional social, ocasionadas pela variação das regras nos algoritmos criados. Inicialmente, se realizou a leitura Analítica da Gramática da Forma de um Conjunto Habitacional específico e, posteriormente, simulou-se em ferramenta computacional a Gramática da Forma Paramétrica, para futuros estudos de melhorias em conjuntos habitacionais similares. Tal ferramenta visa desenvolver soluções inovadoras em tecnologia da informação e comunicação aplicadas à construção e arquitetura. Os resultados demonstram a potencialidade do uso da Gramática da Forma, permitindo a inserção de novos parâmetros a cada momento, criando a perspectiva de flexibilidade na concepção e gerando diversas possibilidades que podem ser analisadas e comparadas durante o processo de tomada de decisão do projeto.

PALAVRAS-CHAVE Habitação de interesse social, projeto de implantação habitacional, gramática da forma.

ABSTRACT The shape grammar is an important tool that can support future research and better quality housing, especially as to deployment and urban integration. The use of generative design systems can improve a number of project routines, thus increasing its use with other informatics tools. This paper presents the results of an exploratory study using generative design system for simulation and immersion process through which one can assess the development and changes of the deployment project for social housing, caused by the variation of the rules in the created algorithms. Initially the Analytical Reading Grammar Form of a specific housing complex was carried out and, subsequently, a computational tool Parametric Shape Grammar was simulated for future studies of similar improvements in housing. This tool aims at developing innovative solutions in information and communication technology applied to construction and architecture. The results demonstrate the potential use of Shape Grammar, allowing the insertion of new parameters at each time, thus creating the prospect of flexibility in designing, therefore generating several possibilities that can be analyzed and compared during project decision making process.

KEYWORDS Social housing, housing deployment design, shape grammar.

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil

²Faculdade de Engenharia Civil (FEC), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil

How to cite this article:

MORAIS, M.; SANTOS, L. G. M.; PINA, S. A. M. G. A leitura da gramática da forma do conjunto habitacional Campinas F da CDHU em Campinas. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 23-36, jul./dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i2.74345>

Fonte de Financiamento:

CAPES e CNPq.

Conflito de interesse:

Declararam não haver.

Submetido em: 10 fev., 2014

Revisado em: 06 out., 2014

INTRODUÇÃO

A grande demanda habitacional no Brasil tem sido respondida por meio de programas de habitação de interesse social, tendo como destaque recente o Programa Minha Casa Minha Vida, através do qual tem sido construída uma quantidade relevante de unidades habitacionais. Contudo, a grande maioria dessas moradias tem se apresentado sob um mesmo padrão, expresso na forma de grandes conjuntos habitacionais, altamente adensados, distantes das centralidades que podem dar suporte aos seus moradores, num padrão constante de monotonia, repetição e precariedade. Infelizmente, a produção em grande escala da habitação social vem reeditando um cenário muito semelhante ao realizado pelo extinto Banco Nacional de Habitação - BNH, de 1964 a 1986. Os efeitos daquela política habitacional resultaram nos principais problemas urbanos da segregação socioespacial das cidades de hoje, insatisfazendo não só os próprios moradores dos conjuntos, mas também a construção sustentável do espaço urbano. Instalados sem qualquer infraestrutura que promova o acesso à cidade, os conjuntos habitacionais construídos sob a égide do PMCMV têm ocorrido pela multiplicação de uma mesma tipologia habitacional que pouco agrupa qualidade arquitetônica, onde está ausente também a qualidade urbana com respeito ao ambiente local, além de não incorporar os equipamentos urbanos de uso coletivo nas definições do projeto. No Estado de São Paulo, a produção estatal de habitação social realizada pela CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano têm adotado o mesmo modelo de repetição de unidades, geralmente blocos de prédios no formato “H”, para a implantação de seus conjuntos habitacionais.

Os aspectos negativos decorrentes da adoção desse modelo têm sido apresentados em diversos estudos que avaliaram alguns conjuntos habitacionais sociais, demonstrando que grande parte dos problemas apresentados nesses projetos, principalmente no que diz respeito à satisfação de seus usuários e à qualidade ambiental urbana, relaciona-se primordialmente aos aspectos da implantação (KOWALTOWSKI et al., 2006). Também é destacada a ausência de um planejamento integrado entre os projetos de conjuntos habitacionais sociais e suas áreas públicas (MONTEIRO, 2007; PINA; BARROS, 2010).

Por outro lado, dentre as novas possibilidades do uso da informática no processo de projeto, salienta-se a utilização de um repertório criado por regras próprias da arquitetura, através de seus elementos, os quais criariam uma gramática específica. Sistemas generativos podem ser compreendidos como métodos indiretos de projeto baseados em algorítimos ou regras, que permitem a criação de diversas soluções alternativas, as quais podem ser criadas e avaliadas na busca da otimização da solução. Existem diferentes tipos de processos generativos com aplicações diversas na área da arquitetura, como é o caso do uso das Gramáticas da Forma, algoritmos genéticos, *cellular-automata* e fractais.

Dessa maneira, visando explorar as potencialidades de um sistema generativo para análise, discussão e proposição de propostas de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social, apresentam-se alguns resultados de um estudo exploratório¹. Para tanto, adotou-se o sistema generativo Gramática da Forma – *Shape Grammar* - voltado ao estudo de conjuntos habitacionais realizados pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo na cidade de Campinas,

¹ O estudo inicial deu-se por meio de uma pesquisa de iniciação científica realizada na UNICAMP e vinculada à Rede Cooperativa de Pesquisa em Tecnologias da Informação e Comunicação Aplicadas à Construção de Habitação de Interesse Social (FINEP TICHSIS).

em especial o Conjunto Habitacional Campinas F, situado no Jardim Nova Aparecida.

Inicialmente, foram identificados os algoritmos para a repetição da solução formal existente, por meio de análise detalhada do projeto de implantação do conjunto habitacional. Em seguida, foram desenvolvidos alguns parâmetros projetuais no sentido de proporcionar melhor qualidade ambiental, visando atender às solicitações dos usuários. Desta forma, o algoritmo original sofreu transformação para incluir novas configurações de orientação solar, bem como redimensionamento de áreas de estacionamentos e de lazer. A gramática da forma extraída e modificada expressa sua capacidade de importante ferramenta de suporte para futuros estudos de melhorias da qualidade e produtividade do segmento da habitação de interesse social. A partir da discussão dos resultados obtidos ao longo da pesquisa, percebe-se a potencialidade na utilização dos Sistemas Generativos no desenvolvimento de projeto que permitem a inserção de novos parâmetros a cada momento, criando a perspectiva de flexibilidade na concepção, gerando diversas possibilidades que podem ser analisadas e comparadas entre si durante o processo de tomada de decisão no projeto.

A gama de resultados provenientes do uso dessas novas tecnologias pode permitir a integração e a avaliação de desempenho e múltiplas necessidades que podem ser incorporadas ao longo do desenvolvimento dos algoritmos, demonstrando assim a sua grande potencialidade de aplicação.

SISTEMAS GENERATIVOS DE PROJETO

Para Mitchell (1975, p. 127), o projeto é um processo que busca a solução de problemas, podendo ser realizado de diversas formas, mentalmente ou mesmo através do computador, dentre elas os croquis. Porém, o autor afirma que embora exista um número crescente de pesquisas desenvolvidas sobre o uso do Computador no auxílio ao projeto, poucas se valem da potencialidade criativa proporcionada pelo meio digital. Uma das novas possibilidades do uso da informática proposta por Mitchell (2008) é a utilização de um repertório criado por regras próprias da arquitetura, através de seus elementos, os quais criariam uma gramática específica; assim, o papel do arquiteto seria organizar esta gramática e suas regras, possibilitando a automação do processo de projeto.

Os métodos de projetos generativos auxiliados por computador (*computational design* ou *design methods movement*) começaram a ser desenvolvidos a partir das décadas de 1950 e 60, tendo como uma das principais características o fato de serem métodos de projeto indiretos, nos quais o projetista não se preocupa com um problema específico, mas sim com a inserção de parâmetros, regras e critérios para que o computador possa solucionar problemas análogos em contextos diferentes (CELANI, 2008). Tais métodos digitais podem gerar uma grande quantidade de resultados, e enriquecer o processo de projeto; podem, ainda, ser considerados verdadeiros “gatilhos” no processo de projeto, ampliando e modificando a visão dos profissionais envolvidos em relação ao projeto (SINGH; GU, 2011).

Na abordagem de Fischer e Herr (2001, p. 3) os autores compararam a abordagem de projeto de modo tradicional, no qual o projetista trabalharia diretamente sobre o produto final, com o uso de sistemas generativos. Neste último, o contato entre o produto e o autor seria realizado através de um sistema generativo, análogo ou digital, manipulado pelo projetista; isso passaria a alterar as características do produto durante o processo projetual. Ainda segundo os autores, a utilização dos sistemas generativos

em plataformas digitais pode potencializar o seu uso e os resultados obtidos através da automatização permitem a multiplicação de soluções de forma massiva permitindo diversas soluções de projeto (FISCHER; HERR, 2001, p. 3).

Existem diversos Sistemas Generativos, como a Gramática da Forma, Cellular Automata, Algoritmos Genéticos e fractais, aplicáveis em diferentes situações e adequados a diferentes contextos. Os Sistemas Generativos de projeto introduzem uma nova abordagem ao processo criativo, o *goal oriented design*. Com este conceito a pesquisa projetual é orientada a priori para objetivos preestabelecidos, ao contrário da metodologia tradicional na qual se avalia o desempenho do edifício e, a posteriori, tenta-se melhorar o seu desempenho ao introduzir, de modo empírico, alterações (SANTOS, 2009). Delanda (2002) afirma ainda que as simulações evolutivas podem ser utilizadas por diversos artistas que usam *softwares* para gerar as formas, opostamente ao simples desenhos. A utilização de sistemas generativos como os algoritmos genéticos, segundo o autor, deve ultrapassar a busca incansável da forma, aventurar-se em diversas áreas como a biologia, a termodinâmica, a matemática e outras áreas da ciência explorando todos os recursos necessários que possam incrementar o uso dessa nova tecnologia. Esta é uma nova abordagem sobre o papel do arquiteto na criação, um processo de criação contínuo que ultrapassa a geometria euclidiana.

De acordo com Celani (2008) os primeiros estudos sobre sistemas generativos ocorrem no mesmo período de desenvolvimento da inteligência artificial, da informática e da pesquisa operacional. Todos estes se desenvolveram como estratégias para a resolução de problemas, e podem ser utilizados em três situações distintas, a saber:

- para a **Otimização de soluções de problemas**: quando os critérios para a solução estão claramente definidos, porém não há método direto para se descobrir a solução. Uma alternativa é gerar e testar as possibilidades, até encontrar a solução que melhor contemple os critérios estabelecidos;
- na **Geração de família de objetos**: em situações em que é necessário criar variedade, consiste em produzir um número de soluções análogas, mas com algumas diferenças. Este é um tipo de problema comum na área do design industrial, e na arquitetura pode ser utilizado para a criação e produção de peças pré-fabricadas;
- e, finalmente, na **Exploração de problemas de projeto**: quando os critérios de solução não estão bem definidos. Para isso é importante procurar distintas possibilidades e, em seguida, aferir quais seriam os prós e contras de cada solução. Busca-se assim encontrar uma solução satisfatória para o problema proposto (CELANI, 2008).

Iniciativas de pesquisadores como Patrick Schumacher² que, em 2008, com o manifesto *Parametricist* ressuscitou a questão dos sistemas generativos digitais aplicados à arquitetura, demonstram ainda a necessidade de uma nomenclatura específica para o termo. Esse fato pode ser visto como uma resposta ao surgimento do Grasshopper e do Generative components, que facilitaram o processo de design paramétrico (HOLLAND, 2011). Dentre os diversos tipos de Sistemas Generativos existentes optou-se pela aplicação da Gramática da Forma no desenvolvimento da pesquisa devido a suas características específicas e sua adequação ao contexto do trabalho.

² Patrick Schumacher é diretor do escritório da Arquiteta Zaha Hadid e durante a 11º bienal de Veneza em 2008 apresentou o manifesto *Parametricist* - “Parametricism as Style” que tratava de questões sobre um novo estilo que vinha amadurecendo na vanguarda da arquitetura nos últimos 10 anos. O manifesto tinha como característica ser uma nova abordagem para a arquitetura baseada em técnicas computacionais avançadas (SCHUMACHER, 2008).

GRAMÁTICA DA FORMA

A Gramática da Forma (*shape grammar*) é considerada um formalismo (CELANI; CYPRIANO; VAZ, 2006) por ter como uma de suas características a valorização do aspecto geométrico, os resultados obtidos com a experiência visual e a estética reforçando a forma e o conteúdo. Inicialmente, a Gramática da Forma foi desenvolvida para pintura e escultura, no início de 1970, por George Stiny e James Gips. Tal gramática consiste na aplicação de um sistema de geração de formas baseado em regras, e tem suas origens no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do linguista Noam Chomsky. O artista inicialmente criaria as regras de composição com formas geométricas, combinando-as de diversas maneiras, criando assim uma obra de arte. Esse sistema é particularmente adequado para a geração de formas e estilos (SINGH; GU, 2011) e tem sido utilizado em áreas ligadas às artes visuais: na pintura, na escultura, na arquitetura, no ensino do *design*, em projetos de engenharia e *design* de produtos (GIPS, 1999). O seu desenvolvimento e utilização pode ser feito de duas formas diferentes: simular a gramática manualmente ou desenvolver um programa de computador. Sua utilização pode ter como fim tanto a análise de projetos existentes, como o desenvolvimento de uma nova linguagem de projeto (SINGH; GU, 2011) e seu processo de projeto se define basicamente em modificações (adição, subtração, realocação) de elementos finitos e na definição ou alteração das relações existentes entre esses elementos a partir de regras.

Basicamente, as Gramáticas da forma podem ser classificadas de diversas formas distintas segundo sua utilização, como: analítica, paramétrica, pré-definida (set grammar), com marcadores de cor (CELANI; CYPRIANO; VAZ, 2006). No contexto desse trabalho, foram utilizados dois tipos:

- **gramática da forma analítica**, utilizada para interpretar um conjunto de regras existentes de um determinado projeto ou obra (no caso específico o Conjunto Habitacional Campinas F) e aplicá-las posteriormente seguindo seus padrões analisados; e
- **gramática da forma paramétrica**, implementada em ferramenta computacional, constituída para a utilização de um conjunto de regras que foram aplicadas recursivamente sobre uma forma inicial (lote definido por quatro pontos). Definindo sua forma inicial, aplicaram-se mecanismos de transformações como rotação, translação divisão, rotação e reflexão (que geraram novos cenários de implantação). A Gramática da Forma pode ser considerada como um sistema generativo paramétrico quando uma determinada regra aplicada posteriormente afeta um conjunto de sub-regras criados anteriormente e influenciando em todo o conjunto. Com um número finito de entradas, esse conjunto pode gerar um número indefinido de soluções (SANTOS, 2009, p. 29-30).

Segundo Kinght e Stiny (2001) a primeira utilização da gramática da forma para a arquitetura foi realizada por Stiny e Mitchell (1980) no plano das vilas palladianas. O resultado dos projetos gerados pela gramática incluem projetos de Palladio originais e novos, além dos hipotéticos que representavam o estilo de Palladio. Já o primeiro estudo tridimensional analítico da gramática da forma aplicado a arquitetura foi realizado por Koning e Eizenberg (1981), que reproduziram as casas da pradaria de Frank Lloyd Wright (KINGHT; STINY, 2001).

Outro exemplo interessante de utilização da Gramática da Forma na arquitetura foi realizado por Duarte (2007), o qual consiste na análise e geração de modelos semelhantes ao projetado por Álvaro Siza, em Évora, na

Quinta da Malagueira. Em um primeiro momento, o arquiteto desenvolveu uma gramática da forma analítica para determinadas residências projetadas pelo arquiteto Siza. Em um segundo momento, transpôs as regras de composição e as características principais do projeto como orientação solar, posicionamento das zonas da casa, dentre outros. Após essa fase, as regras foram implementadas em um programa de computador. Interessante destacar que numa entrevista com Álvaro Siza, ele não conseguiu identificar quais seriam as casas criadas por ele e as geradas de forma automatizada pelo programa desenvolvido por Duarte (2007).

Destacam-se também os estudos realizados na Universidade Técnica de Lisboa para a geração de Planos Urbanos Flexíveis (BEIRÃO; DUARTE, 2005) nos quais, transpondo-se regras e vocábulos para projetos urbanos, comprova-se que o uso da Gramática da Forma pode evoluir desde a concepção de uma simples residência até o projeto de parcelamento de uma gleba. A pesquisa compreendeu desde o processo da leitura do terreno, a definição da complexidade espacial do projeto, a geometria básica da malha urbana que seria gerada, a definição das unidades habitacionais até as regras que definiriam a qualificação espacial dos conjuntos.

Segundo Stiny e Gips (1972), são necessários quatro componentes básicos para o desenvolvimento de uma Gramática da Forma: um conjunto finito de formas, um conjunto finito de relações espaciais, um conjunto finito de regras e uma forma inicial. Finalizada a definição desses elementos inicia-se uma iteração, ou seja, a aplicação sucessiva de regras sobre a forma inicial selecionada, até que se obtenha a composição desejada (CELANI, 2008).

MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado um estudo de campo de caráter exploratório, com a finalidade de analisar os resultados obtidos com o processo de simulação e imersão no Conjunto Habitacional Campinas-F, localizado na cidade de Campinas - SP. Buscou-se analisar o desenvolvimento, o processo de criação e a evolução dos algoritmos gerados através da Gramática da Forma.

O projeto foi realizado em três etapas: a primeira compreendeu a familiarização com o tema, através de uma revisão bibliográfica sobre Sistemas Generativos de Projeto e Gramática da Forma, o que proporcionou a base teórica para o experimento prático realizado. Na segunda etapa, realizou-se a leitura analítica da Gramática da Forma do conjunto. Os dados foram manipulados de forma analógica e extraídos dos arquivos em formato digital (.dwg), e modelos geométricos (.rvt), que permitiram a obtenção de medidas precisas de seus elementos. O passo seguinte determinou as regras de implantação com base na Gramática da Forma analítica realizada. Para a implementação da Gramática Paramétrica foram utilizadas as versões 0.8.0052 e 0.8.0066 do Grasshopper, *plugin* de edição gráfica generativa para o Rhinoceros 4.0 da McNeel North. Os resultados obtidos a partir dos algoritmos foram analisados e, em seguida, foram estabelecidos os primeiros pré-testes comparados ao objeto de estudo: o Conjunto Habitacional Campinas F. Pretendia-se identificar as alterações na forma para que se aproximassesem em um primeiro momento da forma inicial do conjunto habitacional do estudo e, posteriormente, propor alterações que poderiam trazer melhor qualidade na implantação original do conjunto, explorando o conceito de *goal oriented design* (SANTOS, 2009).

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

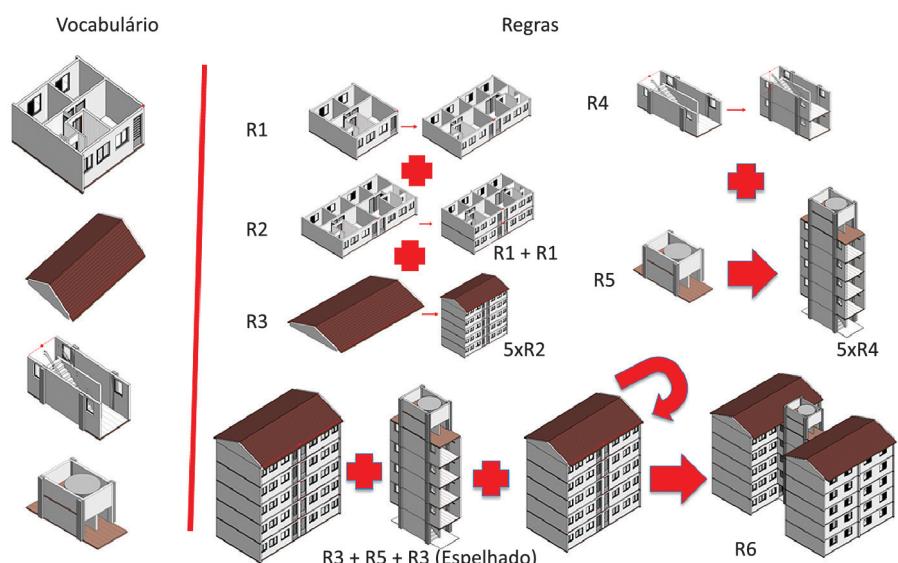
A leitura inicial da implantação do Conjunto Habitacional Campinas F consistiu no estudo das suas áreas, diferenciando-as de acordo com o seu uso. A partir da análise total da gleba, foram delineadas algumas estratégias para o desenvolvimento da Gramática da Forma, antecipando alguns dos possíveis problemas e dificuldades que seriam enfrentados na construção do algoritmo desenvolvido na terceira etapa da pesquisa. Um conjunto de símbolos foi adotado para a representação simplificada dos processos compostivos e do seu vocabulário de formas, como pode ser observado na Figura 1. Através deste, iniciou-se a análise da Gramática da Forma Analítica do CHIS. É claro, o vocabulário inicial de um bloco formado pelos principais componentes, observadas as regras de adição e espelhamento, dão origem ao bloco final.

Assim como o Campinas F, verifica-se que ainda é recorrente a construção de conjuntos habitacionais com tipologias idênticas ou parecidas e uso recorrente de prédios em formato de "H" em terrenos cedidos ou doados pelos municípios, em áreas periféricas. Caracterizam-se pelo pouco desenvolvimento tecnológico nas construções, péssima qualidade construtiva, em conjuntos monofuncionais, tornando-se muitas vezes "imensas, distantes e desagradáveis cidades-dormitórios" (FERREIRA, 2012).

Através dessa análise comprova-se a simplicidade formal do conjunto, devido à repetição de elementos. Inicialmente, identificou-se o vocabulário para a formação da tipologia VI-22 F (Figura 1) e, posteriormente, analisaram-se as regras das relações espaciais do conjunto (Figura 2) que determinam a relação entre a unidade e os blocos e, finalmente, a relação destes com a quadra e o entorno. Observa-se ainda na Figura 2, a relação dos prédios com a quadra central que determina o eixo de espelhamento das unidades. Os recuos e os estacionamentos são restrições que se repetem em todo o conjunto, independente da forma da quadra e da relação entre os blocos, uma vez que a implantação das áreas de estacionamento sempre estão localizadas nas laterais da quadra, ocupando toda sua extensão; já a localização do Centro Comunitário (CAC) e quadra esportiva não se alteram.

Deste modo, percebe-se que no Conjunto Habitacional Campinas F, assim como em outros Conjuntos Habitacionais no Brasil durante as últimas décadas, soluções urbanísticas, arquitetônicas e construtivas repetitivas

Figura 1. Representação da Gramática da Forma Analítica da Tipologia Habitacional do CHIS Campinas F. Fonte: Elaborado pelos autores.



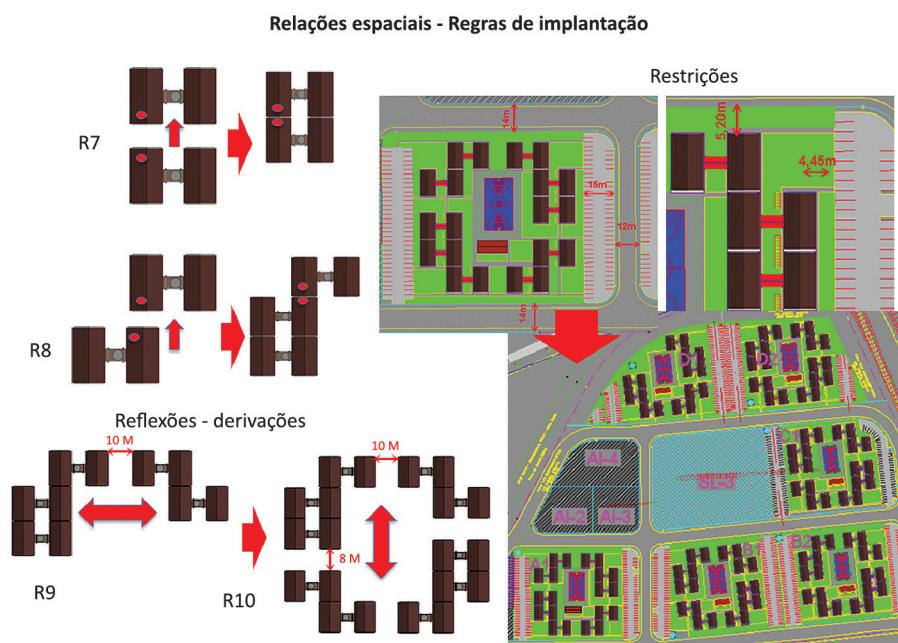


Figura 2. Representação da Gramática da Forma Analítica da Implantação do Campinas F. Fonte: Elaborado pelos autores.

têm sido adotadas. Como resultado, são criados espaços monótonos, sem identidade com os futuros usuários e, em muitos casos, afastados da área urbana consolidada, sem mesmo a mínima infraestrutura, pois na busca pela redução de custos da habitação os parâmetros de qualidade e dimensões mínimas são frequentemente desprezados (KOWALTOWSKI et al., 2006; PINA; BARROS, 2010).

Após a definição do vocabulário, das regras de composição, das relações espaciais e da forma inicial (que marca o início da iteração das regras) chegou-se à Gramática da Forma analítica do Conjunto Habitacional da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU). Em seguida, iniciou-se a implementação e manipulação desta gramática de forma paramétrica no ambiente computacional.

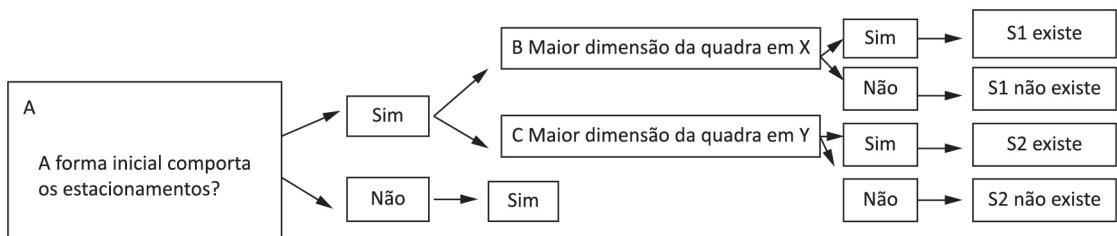
MANIPULAÇÕES DA GRAMÁTICA DA FORMA

Como a Gramática da Forma consiste em um sistema gerativo de alta interação com usuário (SINGH; GU, 2011) em que são necessários testes ao longo do processo para validação e reavaliação dos itens fundamentais, já abordados anteriormente, os resultados da segunda etapa do estudo de campo foram alterados durante grande parte do processo de implementação e manipulação da Gramática Paramétrica do conjunto. Para isso, foram criados no total, três algoritmos distintos no Grasshopper.

Segundo Vaz (2009), a obtenção de resultados na implantação de parâmetros e condicionantes de projeto por meio da gramática da forma deve-se desenvolver um processo contínuo que inclui o teste da mesma, com a finalidade de reduzir o universo de instâncias que são coesas ao conjunto de composições analisadas. Define-se assim, o vocabulário e as regras da gramática que é apenas o início de um longo processo que deve incluir testes sucessivos.

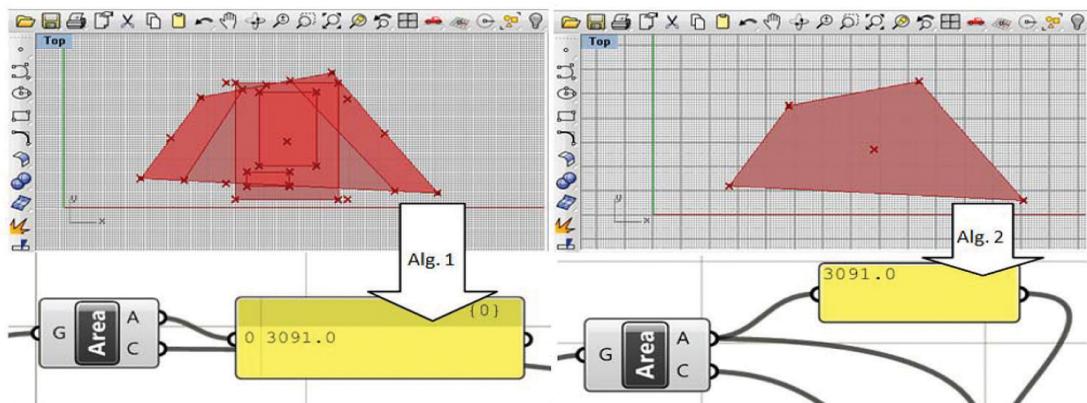
Para que se configurasse como paramétrica, esta Gramática da Forma deveria apresentar maior conectividade e relação entre os diferentes elementos que a constituem, com a possibilidade de controle dos parâmetros estipulados para projeto. Assim, o primeiro passo para a sua construção

foi a definição da sua forma inicial, ou seja, a geometria a partir da qual seriam executadas as diversas modificações e aplicadas as regras. Para todos os algoritmos, a forma inicial utilizada foi um quadrilátero definido por quatro pontos que representam os vértices da quadra. A geometria obtida pode ser tanto um quadrilátero quanto um triângulo, conforme exista ou não sobreposição de pontos (com as mesmas coordenadas em x, y e z). Do algoritmo foram extraídas diversas informações numéricas a respeito dessa geometria inicial, tais como a sua área (em m²), seu centro geométrico, as médias de suas dimensões em x e y e distância do centro geométrico até as arestas (SANTOS, 2012). Embora o primeiro algoritmo apresente maior número de elementos inseridos em relação ao segundo algoritmo, é ainda pouco flexível e não aplica regras condicionais como evidenciado no esquema da Figura 3.



Na Figura 4 pode ser observada a mesma geometria inicial submetida aos dois algoritmos para efeito de comparação. A diferença nos resultados obtidos se deve às rotinas *Visual Basic* (VB) inseridas no segundo algoritmo, incorporando regras e restrições implementadas, seguindo o esquema condicional apresentado na Figura 3.

Figura 3. Esquema condicional para determinar a inserção de elementos. Fonte: Elaborado pelos autores.



O primeiro algoritmo, representado na Figura 4, demonstra que a implementação das regras ocorre de forma parcial e desconexa, sem que as regras consigam interagir entre si, e tem como resultado uma série de objetos que não atendem às necessidades mínimas de flexibilidade para a sua utilização no desenvolvimento de implantação de CHIS. No segundo algoritmo (Figura 4), a restrição condicional que define se a forma inicial comporta o estacionamento foi determinante para que o programa não inserisse os elementos (quadra, CAC e estacionamento) no terreno, deixando-o vazio.

Figura 4. Representação do esquema condicional relacionado ao tamanho da área da quadra para determinar a inserção de elementos. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 5, com algumas alterações das dimensões da forma inicial, observa-se com o uso do algoritmo 2 que as condicionantes criadas em VBA permitiram a inserção mais lógica dos dados pelo usuário. Posteriormente, o algoritmo 2 direcionou o desenvolvimento do algoritmo 3 com a inserção dos blocos com sua volumetria (SANTOS, 2012).

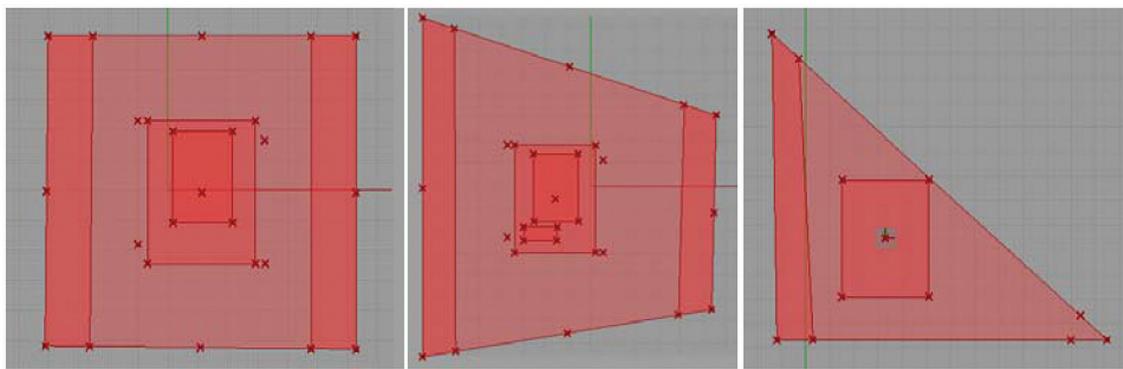
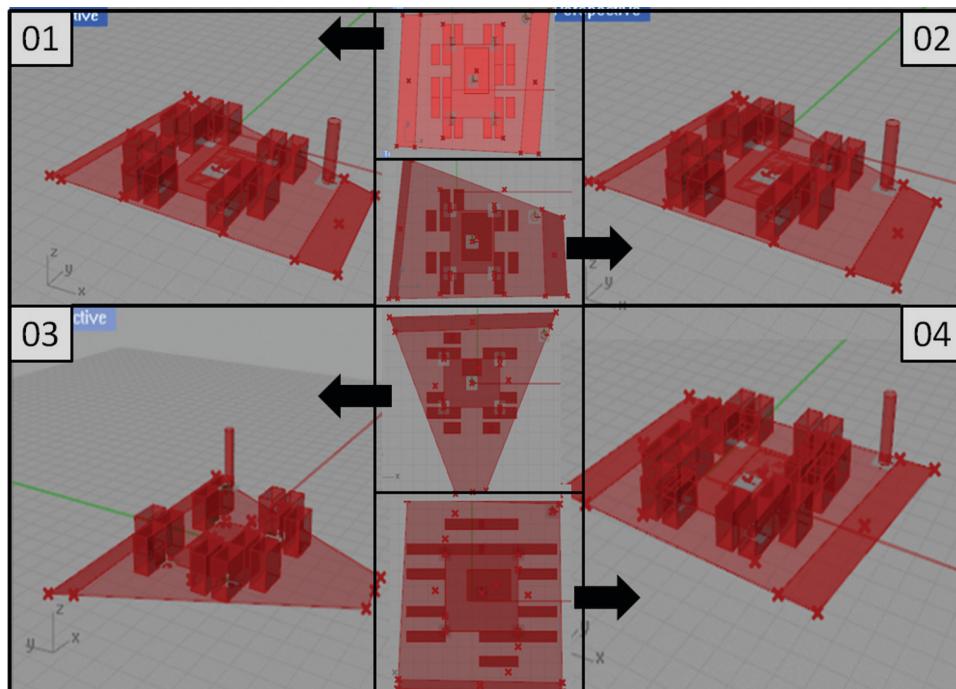


Figura 5. Resultados obtidos com a utilização do algoritmo 2. Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O terceiro algoritmo possui representação tridimensional, com inserção de todos os elementos levantados a partir da análise do CHIS Campinas F e interação entre as regras inseridas através de VBA. Nele, foram implementadas novas regras e relações espaciais cujos resultados permitiram sua parametrização, de forma que o usuário é capaz de manipular os valores de referência (largura dos estacionamentos, dimensão dos edifícios e caixas de escada, recuos mínimos) e gerar resultados que representem, dentro de certos limites, soluções diferentes daquelas encontradas no Conjunto Campinas F. Pode-se observar na Figura 6 a representação dos resultados selecionados dentre as diversas soluções apresentadas com a manipulação das regras estabelecidas no algoritmo 3.

Figura 6. Sequência de resultados, obtidos com o algoritmo 3. Fonte: Elaborado pelos autores.



A partir dos quatro exemplos apresentados na Figura 6 e no Quadro 1, percebe-se a influência da alteração dos parâmetros e da forma inicial na implantação dos elementos no interior da quadra. Quando utilizados os valores encontrados em uma Quadra Padrão do Conjunto Campinas F, encontram-se resultados formalmente próximos da realidade, resultados dos Testes 1 e 2, em número de elementos inseridos e nas relações espaciais existentes entre os mesmos. À medida que são modificados os valores de recuos, dimensão dos elementos, área mínima necessária e dados de referência, surgem soluções inusitadas que apresentam melhor capacidade de adaptação ao novo contexto.

O Quadro 1 apresenta a análise concretizada entre os dados coletados junto ao CHIS Campinas F e as quatro variações de projeto realizadas através da Gramática da Forma Paramétrica obtida com o algoritmo 3.

Quadro 1. Comparativo entre uma quadra padrão do Conjunto Campinas F e os resultados obtidos com a utilização do algoritmo 3.

Valores Inseridos pelo usuário	Quadra Padrão	Resultados Teste 1	Resultados Teste 2	Resultados Teste 3	Resultados Teste 4
Condisional da área mínima da Quadra	Não se aplica	8.000 m ²	4.000 m ²	Não há	8.000 m ²
Área Total da Quadra	10.506,98 m ²	10.717 m ²	8.068 m ²	8.428 m ²	13.949 m ²
Reculo em X	5,00 m	5,00 m	2,00 m	5,00 m	5,00 m
Reculo em Y	5,00 m	2,00 m	2,00 m	5,00 m	2,00 m
Dimensão do espaço central	(35,5 × 47,5) 1.686,25 m ²	(36 × 48) 1.728 m ²	(30 × 40) 1.200 m ²	(20 × 30) 600 m ²	(30 × 40) 1.200 m ²
Quadra de esporte	(20 × 30) 600 m ²	(20 × 30) 600 m ²	(20 × 30) 600 m ²	(10 × 15) 300 m ²	(20 × 30) 600 m ²
Área total de estacionamento	2.289,23 m ²	2.700,00 m ²	2.057 m ²	1.137,40 m ²	1.301,55 m ²
% em relação à área da quadra	22% 125 vagas	25% 156 vagas	25% 110 vagas	13,5% 72 vagas	9,3% 36 vagas
Número de Blocos	19	20	20	13	14
Número de unidades habitacionais	190	200	200	130	280
Reculo entre blocos	6,21 m	6,21 m	6,21 m	6,21 m	9,50 m
Orientação dos blocos	Norte-Sul	Norte-Sul	Norte-Sul	Leste-Oeste	Leste-Oeste
Utilização do VBA	Não se aplica	sim	sim	sim	sim
Justificativa da proposta	Não se aplica	Simular projeto de implantação a partir da inserção de parâmetros encontrados na leitura do projeto do Conjunto Campinas F. Encontrar solução formal presente na maioria das quadras.	Simular a implantação em uma quadra com dimensões inferiores àquelas encontradas no Conjunto, a partir da mudança de valores que a priori inviabilizariam ou limitariam a sua instalação.	Simular a implantação em quadra com dimensões inferiores àquelas encontradas no Conjunto, a partir da mudança de valores que a priori inviabilizariam ou limitariam a sua instalação.	Simular a implantação mudando a orientação solar e a tipologia dos edifícios mais alongada, com 4 Unidades Habitacionais em cada pavimento em vez de duas, como encontrado no Conjunto Campinas F.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Do ponto de vista do incremento na qualidade do ambiente dos conjuntos habitacionais de interesse social é importante que haja essa flexibilidade agregada ao algoritmo, pois os diferentes resultados, quando submetidos a testes de iluminação e ventilação natural e análise de valores, custos, segurança, áreas de lazer e gradientes de privacidade, podem indicar possíveis alternativas de implantação, como observado nos testes 3 e 4.

A partir da discussão dos resultados obtidos ao longo do processo, novas questões foram levantadas e os parâmetros foram alterados sucessivamente, conciliando algumas necessidades, como a variação do tamanho da quadra de esportes, número de unidades habitacionais, orientação solar, dentre outros. Salienta-se que as alterações das regras proporcionavam a mudança automática no modelo tridimensional, possibilitando a interação direta do projetista que poderia alterar sua decisão projetual de forma consciente e interativa.

CONCLUSÕES

O estudo realizado demonstra a potencialidade do uso de Sistemas Generativos de Projeto, os quais aperfeiçoam o número de resultados que podem ser utilizados para apoiar a tomada de decisão na etapa de concepção de novos conjuntos habitacionais de interesse social, primordialmente para a fase de estudos de implantação e inserção urbana.

Percebe-se, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, a necessidade de conhecimento de noções básicas de programação, o que permitiu criar as regras condicionais com VBA. Neste contexto, evidencia-se a importância da introdução desses conceitos e práticas na grade curricular da formação profissional de arquitetos e urbanistas, conteúdo ainda pouco incorporado pelas universidades, sendo raras as exceções.

A partir da discussão dos resultados obtidos ao longo do processo, outras questões podem ainda ser levantadas e novos parâmetros incorporados à sua estrutura, conciliando múltiplas necessidades, como a diminuição dos custos, melhoria da ventilação e iluminação naturais. Vislumbra-se que futuramente o algoritmo possa ser acrescido de maior número de elementos, relações e regras, que resultem na melhoria da qualidade ambiental, variabilidade espacial e valor percebido pelo usuário desse Conjunto Habitacional, possibilitando explorar parâmetros quantitativos e qualitativos passíveis e aplicáveis ao contexto do habitar urbano.

Alguns parâmetros de projeto, como os apontados por Alexander et al. (1977) constituem importante material de referência para a construção desses novos algoritmos, explorando diversos conceitos de desenho urbano, aspecto pouco considerado na maioria dos empreendimentos habitacionais sociais construídos. A utilização de outros *plugins* existentes para o *Rhinoceros* permitirá a análise de desempenho dos resultados obtidos, selecionando os “indivíduos mais aptos”, como o *Galápagos*, outro sistema gerativo baseado no conceito de algoritmos genéticos com aplicação na área da Arquitetura e Urbanismo.

Finalmente, o experimento realizado pode dar suporte para futuros estudos de inserção de qualidade urbana em conjuntos habitacionais similares, indicando sua continuidade e aprimoramento, principalmente no que tange aos testes de interoperabilidade com outras plataformas, ampliando a gama de possibilidades a serem geradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes, pela concessão de uma bolsa de estudos de doutorado; ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, pela concessão da bolsa e à FINEP pelo suporte à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C. et al. **A Pattern Language** - Towns, Buildings, Construction. New York: Oxford University Press, 1977. 1171 p.
- BEIRÃO, J.; DUARTE, J. Urban Grammars: Towards Flexible Urban Design. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE (ECAADE), 23., 2005, Lisboa. **Proceedings...** Technical University of Lisbon, 2005.
- CELANI, M. G. C. Generative design in architecture: history and applications. In: INTERNATIONAL ARCHITECTURE CONFERENCE NEW STRATEGIES, CONTEMPORARY TECHNIQUES, nº.13, 2008, Barcelona. **Proceedings...** Esarq UIC, 2008.
- CELANI, G.; CYPRIANO, G. G.; VAZ, C. E. A Gramática da Forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. **Conexão - Comunicação e Cultura**, Caixas do Sul, v. 5, n. 10, p. 181-197, 2006.
- DELANDA, M. Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture. **Architectural Design**, New York , v. 72, n. 1, p. 9-12, 2002.
- DUARTE, J. **Personalizar a habitação em série**: uma gramática discursiva para as casas da Malagueira do Siza. Lisboa: Fundação Calouste Glubenkian; Fundação para a Ciência e a Tecnologia, 2007. 530 p.
- DUARTE, J. P.; ROCHA, J. Grammar for the Patio Houses of the Medina of Marrakech: Towards a Tool for Housing Design in Islamic Contexts. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE (ECAADE), 24., 2006, Volos. **Proceedings...** University of Thessaly, 2006.
- FERREIRA, J. S. W. (Coord.). **Producir casas ou construir cidades?** Desafios para um novo Brasil urbano. 1. ed. São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012. 199 p.
- FISCHER, T.; HERR, C. M. Teaching Generative Design. In: INTERNATIONAL GENERATIVE ART CONFERENCE, GENERATIVE DESIGN LAB DIAP, 4., 2001, Milano. **Proceedings...** Politecnico di Milano, SODDU, C., 2001.
- GIPS, J. Computer Implementation of Shape Grammars. In: WORKSHOP ON SHAPE COMPUTATION, 1999, Mit. Disponível em: <<http://www.shapegrammar.org/implementation.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2011.
- HOLLAND, N. **Inform Form Perform**. 2011. 138 f. Thesis (Doctor of Architecture)-Architecture Program, University of Nebraska, Lincoln, 2011.
- KINGHT, T; STINY, G. Classical and non Classical computation. **Information technology**, Cambridge, v. 5, n. 4, p. 335-372, 2001. Disponível em: <<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=10473>>. Acesso em: 06/08/2012.
- KONING, H.; EIZENBERG, J. The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses. **Environment and Planning B**, London, v. 8, n. 3, p. 295-323, 1981.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. **Análise de Parâmetros de Implantação de Conjuntos Habitacionais de Interesse Social**: ênfase nos aspectos de Sustentabilidade Ambiental e da Qualidade de Vida. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2006. (Coletânea Habitare, v. 7 - Construção e Meio Ambiente).
- MITCHELL, W. J. **A lógica da Arquitetura**: projeto, computação e cognição. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. 303 p.
- MITCHELL, W. J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and Planning B**, London, v. 2, p. 127-150, 1975.
- MONTEIRO, E. Z. **Verdes-dentro e verdes-fora**: visões prospectivas para espaços abertos urbanos - privados e públicos - em área habitacional de interesse social. 2007. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2007.
- PINA, S. A. M. G.; BARROS, R. P. M. A qualificação de territórios habitacionais, uma metodologia projetual de inspiração humanizadora. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, PLURIS, 4., 2010, Algarve Faro. **Anais eletrônicos...** UAlg, 2010. Disponível em: <<http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper571.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2011.
- SANTOS, L. F. B. S. **Sistemas Generativos de Projecto: Integração de Ferramentas Digitais no Projecto de Arquitectura**. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)-Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

- SANTOS, L. G. M. **Leitura da Gramática da Forma dos Conjuntos Habitacionais CDHU em Campinas**. 2012. 20 f. Relatório final de Iniciação Científica (PIBIC)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- SCHUMACHER, P. Parametricism as Style - Parametricist Manifesto. In: 11th ARCHITECTURE BIENNALE VENICE, 11., 2008, Venice. **Proceedings...** 2008.
- SINGH, V.; GU, N. Towards an integrated generative design framework. **Design Studies**, Milton Keynes, v. 33, n. 2, p. 185-207, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2011.06.001>.
- STINY, G.; GIPS, J. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. In: INTERNATIONAL FEDERATION FOR INFORMATION PROCESSING CONGRESS, 7., 1972, Amsterdam. **Proceedings...** North Holland Publishing Co., 1972. Disponível em: <<http://www.shapegrammar.org/ifip/ifip1.html>>. Acesso em: 14 mar. 2011.
- STINY, G.; MITCHELL, W. J. The grammar of Paradise: on the generation of Mughul gardens. **Environment and Planning B**, London, v. 7, n. 2, p. 209-226, 1980.
- VAZ, C. E. V. **As linguagens compostivas de Roberto Burle Marx**: aplicação e caracterização pela gramática da forma. 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

Correspondência

Marcelo de Moraes, arqmoraes@uol.com.br
Lucas Gabriel Marinho dos Santos, lucas_tlm@hotmail.com
Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina, smikami@fec.unicamp.br

DIRETRIZES PARA A GESTÃO DE PROJETOS INDUSTRIAIS

Project Management: Guidelines for Industrial Projects

Tassia Fassura Lima da Silva¹, Sílvio Burrtino Melhado¹

RESUMO A crescente demanda por rapidez na construção, menores custos e maior controle da qualidade geram uma complexidade na gestão do processo de projeto. Estudos voltados aos projetos industriais ou obras por encomenda ainda são em minoria, ou seja, há poucos trabalhos desenvolvidos e publicados sobre este tema. Além disso, especificamente no segmento escolhido, a complexidade e a diversidade dos projetos, associadas às inúmeras exigências de mercado, demandam melhorias das práticas de gestão de projetos. O trabalho tem como objetivo identificar, por meio de estudos de caso, as ações de gestão utilizadas em projetos industriais (obras por encomenda), caracterizar o processo de projeto, assim como analisar a atuação dos gestores de projeto e suas dificuldades. A pesquisa em questão compõe-se de três fases que se sobrepõem: a primeira fase contempla uma revisão bibliográfica de conceitos relevantes para o estudo; a segunda corresponde à apresentação e discussão de estudos de caso, visando caracterizar a gestão do processo de projeto no segmento dos projetos industriais; a terceira e última fase corresponde à reflexão sobre os principais pontos críticos identificados nos estudos de caso. Como resultado, será possível propor diretrizes aos agentes envolvidos, visando à melhoria contínua e a potencializar o sucesso da gestão de projetos industriais.

PALAVRAS-CHAVE gestão do processo de projeto, qualidade do projeto, projetos industriais.

ABSTRACT The diversity of the industrial projects and market requirements increasingly demand design process evolution. Research studies related to industrial projects are still quite rare, i.e. there is little work done and published on this theme. In the specific market branch, the rising need for speed in construction, lower costs and quality assurance generate complexity in managing the design process and require design quality improvement. Through a multiple case study, this paper aims to identify the design process, difficulties involved in the design manager tasks and the design management practices performed by the companies studied. The research was carried on throughout three stages: relevant literature review; case studies on industrial projects; and the reasoning based on the main points detected during the cases analysis.

KEYWORDS design management, design quality, industrial projects.

¹Departamento de Engenharia de Construção Civil (PCC), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil

How to cite this article:

SILVA, T. F. L.; MELHADO, S. B. Diretrizes para a gestão de projetos industriais. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 37-51, jul./dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.81127>

Fonte de financiamento:

Declararam não haver.

Conflito de interesse:

Declararam não haver.

Submetido em: 02 jun. 2014

Aceito em: 22 nov. 2014

INTRODUÇÃO

Os projetos industriais mobilizam diferentes *stakeholders*, ou agentes. Suas particularidades determinam as atuações de cada agente envolvido. São eles: clientes, profissionais de projeto, consultores e construtores, cada qual com seus objetivos e perspectivas particulares. Segundo Grilo (2002), clientes demandam conformidade com o cronograma, orçamento e a qualidade especificada; projetistas buscam geração imediata e contínua de receita, reconhecimento profissional e emprego mínimo de recursos; construtores procuram meios e métodos viáveis, com um cronograma factível, um canteiro seguro e uma rentabilidade adequada.

As dificuldades técnicas e comerciais entre clientes e projetistas se iniciam logo nas contratações. Segundo Melhado et al. (2006), pode-se dizer que há poucos elementos reconhecidamente aceitos para a definição do conteúdo técnico dos projetos a serem entregues e dos serviços a serem prestados pelos projetistas; é muito comum a falta de clareza por parte dos clientes de propósitos e objetivos a serem alcançados – faltam referências para escopo de serviços de projeto.

Este artigo em como objetivo identificar, por meio de estudos de caso, as etapas de gestão utilizadas em projetos industriais (obras por encomenda), caracterizar o processo de projeto, assim como analisar a atuação dos gestores de projeto e suas dificuldades.

Foi adotado o método de estudo de caso. De acordo com Yin (2001), estudos de caso podem ser considerados como uma das ferramentas possíveis para a realização de pesquisas. Esse tipo de ferramenta deve ser utilizado quando se pretende conhecer as características de eventos contemporâneos da vida real, principalmente quando o foco da pesquisa são as questões de “como” e “porque” determinados eventos ocorrem, sobre os quais o pesquisador possui pouco ou nenhum controle.

Para a seleção das empresas e projetos a serem estudados, foram levadas em consideração as informações prévias sobre a organização e o modelo de gestão que essas organizações já mantêm em seus processos, ou seja, as empresas a serem estudadas precisariam ao menos ter uma estrutura de gestão de trabalho bem definida, como estrutura organizacional, fluxo de processos e procedimentos para o processo de projeto. Também foram consideradas questões como disponibilidade das empresas para fornecer informações e participar de entrevistas. Já para a seleção dos estudos de caso, primeiramente foi realizada uma análise prévia dos casos possíveis a serem analisados, como por exemplo, a fase em que se encontravam, histórico de fatos relacionados aos casos e disponibilidade dos colaboradores envolvidos para participar das entrevistas. A partir dessa análise, os casos foram selecionados e o processo de coleta de dados e informações iniciado.

Neste artigo, como resultado, são propostas algumas diretrizes para a gestão de projetos industriais, com foco na qualidade do projeto, e visando à melhoria contínua e a potencializar o sucesso da gestão de projetos industriais.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

GESTÃO DE PROJETOS (PROJECT E DESIGN MANAGEMENT)

A gestão de projetos tornou-se recentemente um fator chave em vários campos da engenharia. A proliferação de grandes projetos mundiais com objetivo de aproveitar as vantagens dos últimos desenvolvimentos tecnológicos trouxe a demanda por novos ou aperfeiçoados métodos da

gestão de projetos para lidar com esse rápido crescimento industrial (EL-REEDY, 2012).

De acordo com El-Reedy (2012), quando se fala em sucesso de um projeto, o que vem à mente é apenas o lucro em dinheiro, porém para se atingir esse sucesso é preciso focar na gestão de projetos, respondendo a três perguntas:

- Qual o prazo planejado e o prazo executado?
- Qual o orçamento inicial e o custo real?
- O desempenho do projeto está de acordo com as especificações exigidas?

Sendo assim, um gestor de projetos será considerado bem sucedido se conseguir atingir o objetivo do projeto e satisfazer todos os *stakeholders*.

Um projeto constitui-se de ações e atividades inter-relacionadas que são realizadas de forma a obter um conjunto, definido por produtos, resultados ou serviços. A atuação conjunta dos grupos de processos é necessária em qualquer projeto, eles possuem [...] claras dependências internas e devem ser realizados na mesma sequência em cada projeto, independentemente da área de aplicação ou das especificações do ciclo de vida do projeto aplicado [...]” (PROJECT..., 2008, p. 41).

De acordo com Coelho (2006), gestão de projetos é um ambiente integrador, e esta integração exige que cada processo seja associado e conectado a outros processos para facilitar a sua coordenação.

No início dos projetos, são os processos de iniciação que consomem a maioria dos recursos. Com o decorrer do tempo, os processos de planejamento, seguidos dos processos de execução e, finalmente, dos processos de encerramento, passam a consumir mais recursos.

Esse conjunto de processos pode se referir ao empreendimento como um todo (*project*), ao projeto (*design*), à execução da obra ou a todos esses. O que implica, neste último caso, uma sequência de fases de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento encadeadas.

Neste artigo, a ênfase estará concentrada sobre a gestão de projetos no nível “*design*”, muitas vezes denominado “gestão do processo de projeto” ou “desenvolvimento de projetos”, assim como suas devidas interfaces de encadeamento com a gestão no nível do empreendimento, ou “*project*”.

Nesse sentido, de acordo com Han, Love e Peña-Mora (2013), apesar dos avanços na construção e nas técnicas de gestão, os grandes atrasos no cronograma e o aumento de custos ainda persistem no desenvolvimento de projetos. Erros ou alterações de projeto levam a retrabalho e o retrabalho tem sido identificado como um problema endêmico na construção e projetos de engenharia e um dos principais contribuintes para os atrasos de cronograma e custos adicionais face ao orçamento.

A seguir, discutem-se aspectos críticos que afetam o desempenho dos gestores de projetos.

ASPECTOS CRÍTICOS DA GESTÃO DE PROJETOS

Etapas do Processo de Projeto: de acordo com Bertezini (2006), a subdivisão do processo de projeto em etapas é importante, pois permite: que sejam identificadas as atividades a serem realizadas durante o processo, visando atingir ao seu objetivo final; que cada atividade tenha seu conteúdo e informações necessárias bem definidas, além de seus produtos finais; que sejam atribuídas responsabilidades específicas para cada atividade, o que contribui para a transparência do processo e para o fluxo de informações; que sejam disponibilizados os recursos necessários para a execução de cada atividade, obtendo-se vantagens quanto a custos e prazos.

Agentes do Projeto: o desenvolvimento dos projetos depende da interação entre os diversos agentes que atuam em cada etapa de seu

ciclo de vida e que interferem direta ou indiretamente no processo de projeto (MEDEIROS, 2012). São constituídos por equipes multidisciplinares complexas, formadas por clientes, projetistas e construtores, com o objetivo de prover os recursos necessários a cada projeto. Os projetos industriais mobilizam diferentes especialidades na concepção e desenvolvimento de seus projetos. A intensificação das exigências dos clientes em termos de prazos, custos e qualidade tem estimulado a introdução de inovações em tecnologias e métodos de gestão (GRILLO, 2002). Neste cenário, o arranjo de uma equipe que privilegie a interatividade entre os agentes é de extrema relevância para que sejam atendidas essas limitações de custo, tempo e especificações do projeto exigidas.

Equipe Multidisciplinar e Coordenação: o aumento do volume de produtos gerados (disciplinas de projeto), a elevação do fluxo de informações e a necessidade de maior integração e compatibilização entre os intervenientes, em prazos de desenvolvimento global cada vez mais reduzidos, aumentaram a demanda de gestão devido à complexidade dos processos de projeto (MELHADO et al., 2005). E, pela multidisciplinaridade do processo, decorre a necessidade de se criar uma orientação dos trabalhos de cada um dos especialistas, segundo um mesmo conjunto de diretrizes, com a priorização das tarefas de acordo com os objetivos gerais do empreendimento e baseada em critérios voltados à qualidade (MELHADO, 1994).

Estrutura Organizacional Matricial: as organizações matriciais, muito utilizadas por empresas projetistas, são uma combinação de características das organizações funcionais e projetadas. As matrizes fracas mantêm muitas das características de uma organização funcional e o papel do gerente de projetos é mais parecido com a de um coordenador ou facilitador do que com o de um gerente de projetos propriamente dito. As matrizes fortes possuem muitas das características da organização projetizada e podem ter gerentes de projetos em tempo integral com autoridade considerável e pessoal administrativo trabalhando para o projeto em tempo integral. Enquanto a organização matricial balanceada reconhece a necessidade de um gerente de projetos, ela não fornece a ele autoridade total sobre o projeto (PROJECT..., 2010).

BIM (Building Information Modeling): consiste em informações que representam todo edifício e o completo conjunto de documentos do projeto armazenados em um banco de dados integrado. Toda a informação é paramétrica, e dessa forma interconectada (WONG; FAN, 2013). Dentre vários benefícios e vantagens que o BIM pode vir a oferecer, destacam-se o aumento de produtividade, melhoria da qualidade nas apresentações gráficas, melhoria da comunicação interdisciplinar, diminuição da redundância de dados, retrabalhos e erros, entre outros. No entanto, a implementação da estratégia de BIM possui um longo caminho a percorrer até atingir maturidade, e vem sendo continuamente aprimorado (UNDERWOOD; ISIKDAG, 2011).

Os sistemas de BIM podem contribuir para a qualidade e clareza da geração de informações dos desenhos e, se utilizados de modo colaborativo por toda a equipe de projeto, resultarão em benefícios para todos os envolvidos. De acordo com Mathews (2013), há uma crescente demanda por uma colaboração mais intensa dentro do ambiente construído e um incentivador para trazer essa mudança é a plataforma fornecida pelas tecnologias BIM e as oportunidades de colaboração em projetos que ela promove.

Contratação: os sistemas contratuais exercem uma notável influência na gestão do empreendimento, na medida em que definem as relações contratuais e funcionais entre os agentes. Sistemas contratuais inadequados

podem conduzir a acréscimos nos custos e atrasos, reivindicações e disputas, bem como perda da qualidade do investimento nos empreendimentos (GRILLO; MELHADO, 2002). Para ser eficiente, a gestão de contratos requer planejamento, que deve ser feito antes da assinatura do contrato, em paralelo com a análise do risco de execução do projeto que se deseja contratar (RICARDINO; SILVA; ALENCAR, 2008).

Segundo Carvalho e Rabechini (2005), muitos empreendimentos requerem entregas que são impossíveis de serem desenvolvidas, pois dependem de competências que estão fora do âmbito do projeto. Nestes casos, os projetistas abrem mão de desenvolver produtos ou serviços no projeto e buscam o apoio de terceiros, cujas equipes são incorporadas ao projeto. De acordo com Silva (1999), o processo de terceirização de atividades traz como consequência uma degradação de determinados processos de gestão, pois muitas vezes é feita uma transferência da responsabilidade pela condução dos processos de planejamento, em um nível de detalhe incompatível com o grau de responsabilidade global transferida ao fornecedor, que pode implicar riscos nem sempre plenamente identificados.

Gestão da Informação e da Comunicação: as atividades relacionadas ao planejamento, execução, monitoramento e encerramento de um projeto são dependentes de informações que devem ser disponibilizadas no tempo da demanda (MENDES JUNIOR; FAGUNDES; TRISKA, 2005). No início do projeto, quando da análise de requisitos, os agentes envolvidos são considerados como a principal fonte destes requisitos para o desenvolvimento do projeto. De acordo com o PMI (PROJECT..., 2008), os gerentes de projeto gastam a maior parte do seu tempo se comunicando com os membros da equipe e de outras partes interessadas do projeto, que sejam internas (em todos os níveis da organização) ou externas à organização. Conduzir e estimular a efetiva comunicação entre os agentes envolvidos no projeto têm se tornado tarefas difíceis. Oliveira (2005) afirma que a troca constante de fornecedores, as relações dinâmicas entre os agentes e seus diferentes interesses são fatores que tornam difícil a flexibilização do processo e tendem a incrementar também a dificuldade na troca de informações.

Gestão da Qualidade: com o aumento dos agentes envolvidos e maior complexidade de gestão, faz-se necessário a criação de mecanismos de avaliação, verificação e controle em cada etapa do projeto. Esta prática deve ser aplicada ao projeto como um todo, mesmo que parte dele seja elaborada por terceiros. Durante a execução do projeto, profissionais irão atender a esses requisitos considerando as melhores soluções técnicas e econômicas. A análise crítica é uma etapa fundamental do processo, pois é possível identificar e minimizar os desvios do projeto em relação aos requisitos inicialmente definidos (MELHADO et al., 2005).

Gestão do Conhecimento: o reflexo de uma estrutura organizacional aderente às estratégias da empresa é sua comunicação. Nas empresas inovadoras a comunicação não é transmitida de cima para baixo seguindo um só caminho e, normalmente, é compartilhada por um número significativo de interessados de forma a atenderem seus requisitos. Há pelo menos três variáveis a serem consideradas na gerência da inovação: informação, tempo e pessoas. As empresas que melhor gerenciam a inovação são aquelas que disponibilizam a informação certa para a pessoa certa na hora certa. Esta capacidade só é conseguida por meio de um processo de gerência do sistema de comunicação que no seu estágio de maior abrangência constitui-se no que é hoje chamado de gestão do conhecimento (RABECHINI JUNIOR; CARVALHO; LAURINDO, 2002).

Gestão de Riscos: risco é descrito como um evento, um fato ou uma condição com certas consequências esperadas e probabilidade conhecida, o que torna possível avaliar, prever ou medir o risco, e assim planejá-lo (PERMINOVA, 2001). Os projetos industriais tendem a apresentar inúmeros e variados riscos, devido, por exemplo, à complexidade e às diferentes tecnologias que são aplicadas ao seu desenvolvimento. De acordo com Rabechini Junior e Carvalho (2013), nas dimensões de tecnologia e inovação parecem estar os aspectos mais relevantes da incerteza devido às suas naturezas, havendo, portanto, uma relação direta entre essas variáveis. Dessa forma, acredita-se que quanto maior o grau de inovação e tecnologia, maiores as incertezas envolvidas.

Na gestão de projetos, os eventos de risco muitas vezes são classificados como ameaças e oportunidades. Como afirma Schuyler (2001), a gestão de riscos em projetos possui o objetivo de reduzir a probabilidade e os impactos das ameaças, além de aumentar a probabilidade e os impactos das oportunidades.

ESTUDOS DE CASO

EMPRESA A

A projetista é uma empresa brasileira de projetos, gerenciamento, engenharia e fornecimento de pacotes EPC/EPCM fundada em 1987. Possui matriz na cidade de São Paulo e filiais em: Vitória (ES), Belo Horizonte (MG), Salvador (BA), São Luís (MA), Belém (PA) e Neuquén, na Argentina. Além destas unidades, conta ainda com grupos-tarefa alocados no Brasil e no exterior.

Com cerca de 2.300 profissionais (sendo que 83% atuam na área técnica e 17% na administrativa), a projetista possui diversos clientes de diferentes segmentos como Mineração, Metalurgia, Siderurgia, Fertilizantes, Óleo e Gás, Petroquímica, Infraestrutura, Energia, Projetos Portuários, Gerenciamento de Implantação e Construções.

A empresa realiza serviços de consultoria e estudos (estudos de mercado/ viabilidade técnico-econômica, impactos ambientais, HAZOP, análise de riscos de projetos); engenharia de projeto conceitual, básico e detalhado (disciplinas de Processos Químicos, Processos Mínero Metalúrgicos, Sistemas de Utilidades, Tubulações, Sistemas de Combate a Incêndio, Mecânica, Sistemas de Ventilação e Ar Condicionado, Eletricidade, Instrumentação, Controle e Automação, Arquitetura, Estruturas Metálicas, Estruturas de Concreto e Fundações, Infraestrutura Civil, Geologia e Geotecnica); Suprimentos (compras de equipamentos e materiais, diligenciamento de fabricação, inspeção de fabricação, coordenação e logística de transporte, gestão de materiais (controle de almoxarifado); Comissionamento/Assistência à Partida e Pré-Operação; Gerenciamento de Implantação e Construções.

A gestão de projetos na Empresa A está vinculada ao corpo gerencial da empresa formado pelos coordenadores de projeto e departamento de planejamento. Tanto os coordenadores quanto os planejadores respondem diretamente às diretorias dos segmentos industriais e de gerenciamento.

EMPRESA B

A empresa de Engenharia Consultiva foi fundada em 1990. Possui matriz em São Paulo e filiais no Rio de Janeiro/RJ e Esteio/RS, oferecendo serviços de Projetos Básicos e Detalhamento, Engenharia de Suprimentos, Gerenciamento de Empreendimentos, Serviços em EPC'M, Estudos Ambientais, Avaliações e Diagnósticos.

Com cerca de 800 colaboradores, a empresa atua nos segmentos industriais de Óleo, Gás e Petroquímica (Refinarias, Plantas Petroquímicas, Dutos e Terminais), incluindo Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Saneamento de Água e Esgoto, Estudos Ambientais e Recursos Hídricos) e Infraestrutura (Transportes Multimodais, Infraestrutura Urbana e Energia).

A empresa possui uma ampla gama de disciplinas desenvolvidas por profissionais qualificados, são elas: analista de sistemas, coordenadores, gerentes, civil, elétrica, equipamentos, instrumentação, tubulação, processo químico, materiais, planejamento, qualidade e HSE, entre outras.

ESTUDOS DE CASO

O **Caso 1** refere-se a uma Usina Siderúrgica que terá capacidade anual de produção de 2,5 milhões de toneladas de placa. O empreendimento tem investimento estimado em R\$ 5,8 bilhões e terá geração de 16 mil empregos na fase de implantação. Além da usina para produzir placas e aços laminados, o empreendimento compreende a construção de um acesso ferroviário, para receber o minério de ferro, e a construção de um terminal fluvial no rio Tocantins, para receber o carvão mineral e fazer o escoamento da produção siderúrgica até o Terminal Portuário de Vila do Conde, em Barcarena (PA). Além de atender à produção da siderúrgica, a futura hidrovia deverá servir a outras atividades socioeconômicas da região. Para elaboração dos projetos acima foram vendidas 5.000 Hh (cinco mil horas técnicas) de engenharia e 1.000 Hh (mil horas técnicas) de coordenação e planejamento, sendo prazo contratual de cinco meses, regime de contratação por preço global no valor total de R\$ 754.594,86 para execução dos serviços.

Quanto ao **Caso 2**, trata-se da implantação de uma Unidade de Recuperação de Hidrogênio e Construção Civil do Sistema de Enriquecimento de Oxigênio – UHR. A unidade projetada terá uma capacidade nominal de carga de 322.000 Nm³/d e produção estimada de 200.000 Nm³/d de hidrogênio e 122.000 Nm³/d de gás combustível. Para os serviços a Preço Global de Projeto de Detalhamento os honorários profissionais consistem em R\$ 3.682.712,80 (três milhões seiscentos e oitenta e dois mil, setecentos doze reais e oitenta centavos) compreendendo 28 mil horas de engenharia e prazo previsto de 14 meses.

Com relação ao **Caso 3**, tem por objetivo a elaboração de Projeto Básico e Executivo para novos estudos e/ou ampliações de edifícios, áreas de produção, envase, embalagem e utilidades existentes no site, a partir de projeto conceitual consolidado. A fábrica inclui um total de três unidades de produção para produtos cosméticos, fragrâncias e produtos de higiene pessoal. Para a prestação dos serviços definidos, o valor estimado do projeto é de R\$ 3.598.182,78 (três milhões quinhentos e noventa e oito mil, cento e oitenta e dois reais e setenta e oito centavos), com o prazo estimado de 5 meses e 27 mil horas de engenharia.

As Figuras 1, 2 e 3 permitem a visualização da configuração física dos projetos industriais analisados neste artigo.

DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS PRINCIPAIS ASPECTOS DOS CASOS ESTUDADOS

Após coleta de dados baseada em um protocolo de estudo de caso múltiplo, confrontados com a bibliografia, foram estabelecidos temas prioritários de análise, subdivididos em subtemas (conforme se pode ver nas duas primeiras colunas do Quadro 1).

O Quadro 1 apresenta, de forma resumida, uma síntese contendo as principais observações realizadas nos três estudos de caso.

Quadro 1. Síntese dos Estudos de Caso.

Tema	Subtema	Caso 1 (Empresa A)	Caso 2 (Empresa A)	Caso 3 (Empresa B)
Gestão de Projetos	Project Mana-gement	<p>Iniciação: informação de referência (falta de informações reais e confiáveis dos principais equipamentos do empreendimento/sondagem realizada em período de seca)</p> <p>Planejamento: contratação de terceiros</p> <p>Execução: integração entre atividades, riscos</p> <p>Controle: terceiros</p> <p>Encerramento: n.a.</p>	<p>Iniciação: informação de referência (falta de informações reais e confiáveis dos principais equipamentos - utilizados catálogos/layout da área de microbiologia divergida de informações enviadas no início do projeto/atraزو na definição de reatores/Problemas na fase de execução - “as built” - interferências de tubulações)</p> <p>Planejamento: esclarecimento do nível de detalhamento do projeto/rotatividade da equipe da projetista/inexperiência em BIM e sistema hidrossanitário a vácuo (contratação de terceiros)</p> <p>Execução: falta de conhecimento de BIM</p>	<p>Iniciação: informação de referência (“as built” desatualizado - instalações não mapeadas / especificações e quantidades de materiais falhas /)</p> <p>Planejamento: mudança de escopo/questões climáticas/reestruturação organizacional da projetista</p> <p>Execução: integração de equipe projeto-obra (fator geográfico dificultou o processo de comunicação)</p> <p>Controle: Gestão de MO (falta de controle das modificações realizadas - falta de registro das premissas adotadas)</p> <p>Encerramento: n.a.</p>

Fonte: Silva (1999). n.a. - não avaliado.

Quadro 1. Continuação...

Tema	Subtema	Caso 1 (Empresa A)	Caso 2 (Empresa A)	Caso 3 (Empresa B)
Gestão do Processo de Projeto	Etapas do Projeto	Falta de informações necessárias para desenvolvimento das atividades - utilizado referências disponíveis em etapas anteriores (projeto básico)	Atraso na definição de requisitos (dados de processo, especificações de tanques) Falta de informações de referência necessárias para desenvolvimento das atividades - utilizado referências disponíveis em catálogos de equipamentos	Falta de informações para execução da obra ("as built") Gestão de riscos para atividades que dependiam de fatores externos (desmobilização de canteiro do vizinho) Gestão de riscos para questão climática
	Agentes Envolvidos	Falta de recursos disponíveis para realização do projeto de drenagem - contratação de terceiros	Grande quantidade e nível de alterações de projeto solicitado pelo cliente.	Precisão (verificação) do projeto quanto a quantificação de materiais
	Equipe Multidisciplinar e Coordenação	Falta de gestão da contratação de terceiros	Cliente Consultoria técnica externa Projetista	Cliente Gerenciadora Construtora/Montadora Projetista
	Contratação de Projetos	Equipe Multidisciplinar e Coordenação	Rotatividade de coordenadores e planejadores	Rotatividade dos membros da equipe de projeto (coordenadores, job leaders e projetistas) devido à carência de profissionais e também ao atendimento a outros projetos gerou perda de histórico do projeto, revisões de projetos já aprovados e muito retrabalho
	Estrutura Organizacional	Modalidade	Preço Global	Preço Global
		Tipologia	Matricial	Matricial

Fonte: Silva (1999), n.a. - não avaliado.

Tema	Subtema	Caso 1 (Empresa A)	Caso 2 (Empresa A)	Caso 3 (Empresa B)
Gestão de Riscos		Não foi elaborada nenhuma análise de risco quanto à aquisição de serviços externos.	Não foi realizada análise de risco quanto à falta de conhecimento e primeira experiência na elaboração de projeto utilizando o sistema BIM.	A construtora / gerenciadora não realizou análise de risco quanto atividades que dependiam de fatores externos, como por exemplo, o atraso da desmobilização do canteiro vizinho que afetou a execução do caminhamento da interligação entre rada. Também não foi realizada a gestão de riscos pela projetista, por exemplo, no que diz respeito à elaboração do projeto com a obra em andamento. Outro exemplo da falta de gestão de riscos foi em relação à questão climática.
Gestão da Informação e da Comuni-cação	Gestão da Infor-mação e da Comuni-cação	Informações de referência faltantes	Informações de referência faltantes	Atraso na entrega do projeto (recursos insuficientes para a necessidade do projeto) gerando problemas a resolver na fase de execução
Gestão da Informação e da Comuni-cação		Informações de projeto recebidas de terceiros não verificadas, ou seja, não confiáveis	As várias formas de recebimento de projetos (solicitadas pelo próprio cliente) geraram utilização de revisões superadas na obra	Não cumprimento da matriz de distribuição de documentos (falta de controle de versões dos projetos/ utilização de revisões superadas na obra)
Gestão da Qualidade		Falta de plano de comunicação com terceiro	O cliente também não tinha controle interno de recebimento de projetos efetivo	Fator geográfico equipe projeto - equipe obra verificação e análise crítica do projeto
Gestão do Conhecimento			Falta de recursos por parte do cliente para atender a demanda de definições de projeto (equipe reduzida sem todas as especialidades necessárias)	A projetista não mobilizou equipe para assistência técnica a obra devido à redução de orçamento, ou seja, não foram alocados recursos para essa atividade
				Falta de participação de agentes envolvidos em reuniões e decisões
				Validação do projeto pelo cliente (no comentário e aprovação (não havia recurso)
				Utilização de revisões superadas de projeto na obra
				Informação de referência pelo cliente ("as built")
				Organização das informações (banco de dados do projeto)



Figura 1. Caso 1: Planta geral do projeto. Fonte: Dados de pesquisa.

DIRETRIZES

Como resultado da análise dos casos e diante dos conceitos de gestão apontados pela revisão bibliográfica, foram detectados pontos em comum que sugerem algumas diretrizes preliminares.

Os dados iniciais para o desenvolvimento do projeto (coleta/entrada de informações) têm grande relevância e estas informações devem ser confiáveis, para que o projeto tenha qualidade, diminuindo riscos em relação a atrasos e aumento de custos.

No Caso 1, foi possível observar que as informações que alimentaram o processo de projeto possuíam um grau de incerteza muito grande e, com a falta de colaboração do cliente no que diz respeito à qualidade da informação, tornaram-se uma grande fonte de prejuízos. No Caso 2, faltaram informações de referência. Nesse mesmo caso, foi bastante crítico o desconhecimento e inexperiência da Empresa Projetista para o uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM). Também foi constatada deficiência por alocação insuficiente de recursos (Caso 2).

Em entregas parciais dos projetos, a integração entre as disciplinas envolvidas, compatibilização e análise crítica devem ser considerados “pilares” do processo de projeto. Foram observadas deficiências graves de gestão nesse aspecto, nos casos estudados.

Outro aspecto crítico diz respeito à gestão da qualidade. Nos Casos 2 e 3, problemas gerados pela falta de controle na distribuição de documentos levaram à utilização de versões canceladas pela equipe de obra.

Dada a análise dos casos estudados, podem ser elencadas sete diretrizes para a gestão de projetos, dentro do contexto característico dos três casos:

Diretriz 1:

DIRETIVA 1:
Prioridade deve ser dada à definição e correta aplicação da **matriz de responsabilidades do projeto**, incluindo-se o cliente e suas equipes técnicas, como forma de prevenir decisões erradas, mal fundamentadas ou não validadas.



Diretriz 2:

Atenção quanto à **qualidade da informação** disponibilizada pelo cliente ou por terceiros, submetendo-a a verificação e análise crítica, em todas as etapas, de modo a tornar o projeto confiável e reduzir retrabalho.

Diretriz 3:

Um sistema de **controle de documentação**, confiável e capaz de rastrear a circulação dos documentos de projeto, é imprescindível para se garantir que as informações corretas prevaleçam.

Diretriz 4:

A qualificação e dimensionamento das **equipes de projeto** deve ter garantia de adequação aos requisitos de projeto estabelecidos desde o contrato; eventuais situações de qualificação insuficiente devem ser objeto de capacitação e treinamentos prévios.

Figura 2. Caso 2: Planta geral do empreendimento. Fonte: Dados de pesquisa.

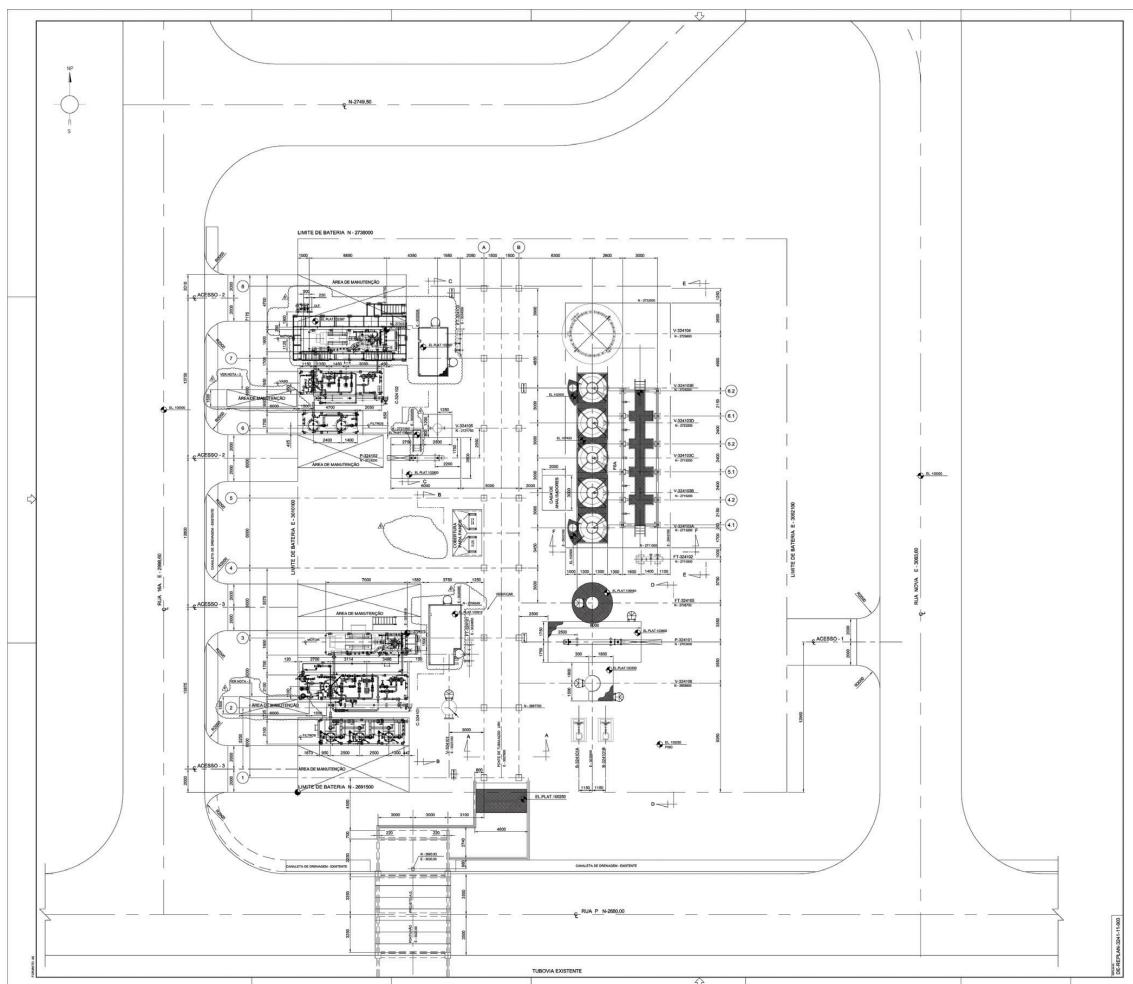


Figura 3. Caso 3: Planta geral do empreendimento. Fonte: Dados de pesquisa.

Diretriz 5:

Identificada a necessidade de **aquisição de serviços externos**, deve-se elaborar uma análise de riscos, principalmente em relação a prazo e qualidade, de modo a garantir que o trabalho de uma equipe terceirizada atenda aos objetivos do cliente.

Diretriz 6:

As informações do projeto devem ser organizadas e um banco de dados deve ser elaborado de maneira a atender aos requisitos da **gestão do conhecimento**. A falta de organização dos dados do projeto e alta rotatividade de colaboradores geram perda de informações relevantes que poderiam ser utilizadas, por exemplo, como lições aprendidas dentro da organização.

Diretriz 7:

Ao longo da elaboração de um projeto, muitas situações de risco podem ser identificadas e uma efetiva **análise e gestão de riscos** podem garantir resultados favoráveis, além de evitar impactos negativos, que geram prejuízos em projetos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura apresentou os conceitos, ferramentas e diretrizes do processo de projeto, além de evidenciar a importância da gestão para se alcançar o sucesso e atender aos objetivos de determinado projeto. Entretanto, foram observados, na prática, desvios e quebras de procedimentos em alguns casos, e falta de uma gestão mais efetiva em várias situações; especialmente, com enfoque preventivo.

No entanto, a maioria dos desvios no processo de projeto identificados nos projetos industriais estudados possui a participação da coordenação de projetos como a responsável pelo resultado obtido. Dificuldades e falhas da coordenação, comuns aos casos analisados, significaram prejuízos quanto ao prazo, custo e qualidade comprometendo o sucesso do projeto.

Esses profissionais que oferecem suporte a elaboração do projeto, integrando a equipe e garantindo a eficiência de todo o processo de projeto até seu encerramento, tendem a ser engenheiros que não optaram por seguir a carreira de coordenador, sendo esta uma evolução da própria carreira ou simplesmente uma oportunidade oferecida pela empresa.

Um dilema sugerido pela análise dos estudos de caso está intimamente ligado às responsabilidades atribuídas a partir da ocorrência de problemas. Houve quebras de procedimento, em alguns casos, mas parece ter faltado uma gestão mais efetiva em várias situações; especialmente, com enfoque preventivo.

Outra questão de difícil equacionamento para a gestão de projetos no segmento estudado consiste em como controlar o “risco-cliente”; em boa parte das dificuldades e insucessos relatados, o cliente estava na origem do processo, revelando-se um fator de risco que não teve adequado tratamento por parte dos gestores.

REFERÊNCIAS

- BERTEZINI, A. L. **Métodos de avaliação do processo de projeto de arquitetura na construção de edifícios sob a ótica da gestão da qualidade.** 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CARVALHO, M.M.; RABECHINI, R.J., **Construindo Competências para Gerenciar Projetos**, São Paulo, 2005.
- COELHO, M. C. P. **Metodologia de gestão de projetos de edificações baseadas no PMBoK do PMI.** 2006. 104 f. Monografia (Especialização)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- EL-REEDY, M. A. **Construction management for industrial projects.** 1st. ed. Wiley-Scribner, 2012.
- GRILLO, L. M. **Gestão do processo de projeto no segmento de construção de edifícios por encomenda.** 2002. 370 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- GRILLO, L. M.; MELHADO, S. B. Novas formas de contratação e organização dos empreendimentos no segmento de construção de edifícios para terceiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002. Foz do Iguaçu. *Anais...*
- HAN, S.; LOVE, P.; PEÑA-MORA, F. A system dynamics model for assessing the impacts of design errors in construction projects. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 57, n. 9-10, p. 2044-2053, 2013. <http://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.06.039>
- MATHEWS, M. BIM collaboration in student architectural technologist learning. **Journal of Engineering, Design and Technology**, Bingley, v. 11, n. 2, p. 190-206, 2013.
- MEDEIROS, M. C. I. **Gestão do conhecimento aplicada ao processo de projeto na construção civil: estudo de caso em construtoras.** 2012. 395 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994. 294 f. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELHADO, S. B. et al. **A gestão de projetos de edificações e o escopo de serviços para coordenação de projetos.** São Paulo, 2006.

MELHADO, S. B. et al. **Coordenação de projetos de edificações.** São Paulo: Tula Melo Editora, 2005.

MENDES JUNIOR, R.; FAGUNDES, J. L.; TRISKA, R. A gestão da informação no contexto de gerenciamento de projetos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 2005, São Paulo. **Anais ... 1 CD-ROM.**

OLIVEIRA, O. J. **Modelo de gestão para pequenas empresas de projetos de edifícios.** 2005. 256 f. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PERMINOVA, O. **Managing uncertainty in projects.** Abo Akademi University Press, 2011.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **PMBoK:** Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. 4. ed. 2008.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **PMBoK:** Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. 5. ed. 2010.

RABECHINI JUNIOR, R.; CARVALHO, M. M. **Relacionamento entre gerenciamento de risco e sucesso de projetos,** Produção, v. 23, n. 3, 2013.

RABECHINI JUNIOR, R.; CARVALHO, M. M.; LAURINDO, F. J. B. **Fatores críticos para implementação de gerenciamento por projetos: o caso de uma organização de pesquisa.** Produção, v. 12 n. 2, 2002.

RICARDINO, R.; SILVA, S. A. R.; ALENCAR, C. T. **Administração de contrato em projetos de construção pesada no Brasil:** um estudo da interface com o processo de análise do risco. São Paulo: EPUSP, 2008. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP).

SCHUYLER, J. **Risk and decision analysis in projects.** Philadelphia: Project Management Institute, 2001.

SILVA, S. A. R. **Programações por recurso: o desenvolvimento de um método de nívelamento e alocação com números nebulosos para o setor da construção civil.** 1999. 280 f. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. Emerging Technologies for BIM 2.0. **Construction Innovation,** Bingley, v. 11, n. 3, p. 252-258, 2011.

WONG, K.; FAN, Q. Building information modelling (BIM) for sustainable building design. **Facilities,** Bingley, v. 31, n. 3-4, p. 138-157, 2013.

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

Correspondência

Tassia Fassura Lima da Silva, Tsa29v@hotmail.com
Sílvio Burttino Melhado, Silvio.melhado@usp.br

SAMBA RECEPTION DESK: COMPROMISING AESTHETICS, FABRICATION AND STRUCTURAL PERFORMANCE WITH THE USE OF VIRTUAL AND PHYSICAL MODELS IN THE DESIGN PROCESS

Balcão Samba: Compatibilizando Estética, Fabricação e Desempenho Estrutural com o Uso de Modelos Virtuais e Físicos no Processo de Projeto

Wilson Barbosa Neto¹, André Araujo¹, Guilheme Carvalho¹, Gabriela Celani¹

ABSTRACT The present paper describes an integrative design experiment in which different types of models were used in order to achieve a design that compromises aesthetics, lightness, fabrication, assembly and structural performance. It shows how an integrative approach, through the use of both virtual and physical models, can provide valuable feedback in different phases of the design and fabrication process. It was possible to conclude that the design method used allowed solving many problems and had a significant impact in the resulting object.

KEYWORDS Design process, Structural analysis, Parametric design, Digital fabrication, Integrative design, Models in design.

RESUMO Este artigo descreve um experimento de projeto integrado no qual diferentes tipos de modelos foram utilizados com o objetivo de compatibilizar questões estéticas, leveza, fabricação, montagem e desempenho estrutural durante o processo de projeto. O trabalho mostra como uma abordagem integrada, com o uso de modelos virtuais e físicos, permite obter respostas importantes ao longo das diferentes fases do processo de projeto e fabricação. É possível concluir que o método utilizado permitiu resolver diversos problemas, tendo um impacto significativo no produto final.

PALAVRAS-CHAVE Processo de projeto, Análise estrutural, Modelagem paramétrica, Fabricação digital, Design integrado, Prototipagem.

¹Faculdade de
Engenharia Civil - FEC,
Universidade Estadual de
Campinas - UNICAMP,
Campinas, SP, Brasil

INTRODUCTION

The word “compromising” is defined by the dictionary as “[...] a settlement of differences by mutual concessions; an agreement reached by adjustment of conflicting or opposing claims, principles, etc., by reciprocal modification of demands.”* During the design process, designers need to achieve compromise between conflicting characteristics of a building or an object: cross-ventilation against protection, transparency against insulation, economy of materials against strength, form against constructability, and so on.

Kolarevic calls “integrative design” the cooperation between different disciplines “[...] from the earliest stages of design, fluidly crossing the conventional disciplinary and professional boundaries to deliver an innovative product at the end [...]”. (KOLAREVIĆ, 2009, p. 337). He also points out the possibility of integrating “[...] almost instantaneously produced [...]” physical models into this process, as “[...] a valuable feedback mechanism between conception and production [...]” (KOLAREVIĆ, 2009, p. 338). Similarly, in her seminal paper, Oxman (2006) points out the importance of interacting digital and physical models during the design process in different categories of digital expertise.

This paper describes an integrative design experiment in which different types of virtual and physical models were used in order to achieve a design that compromises aesthetics, lightness, fabrication, assembly and structural performance. It also embraces three aspects of the design and fabrication process of the same object. The first aspect is the parametric design thinking process used to achieve not only the object’s final shape but also the interaction between its parts and connections. The second aspect is the integration of virtual and physical models during the design process and structural analysis. The third aspect focuses on fabrication issues with the use of plasma cutting technology, and its relations with the design process.

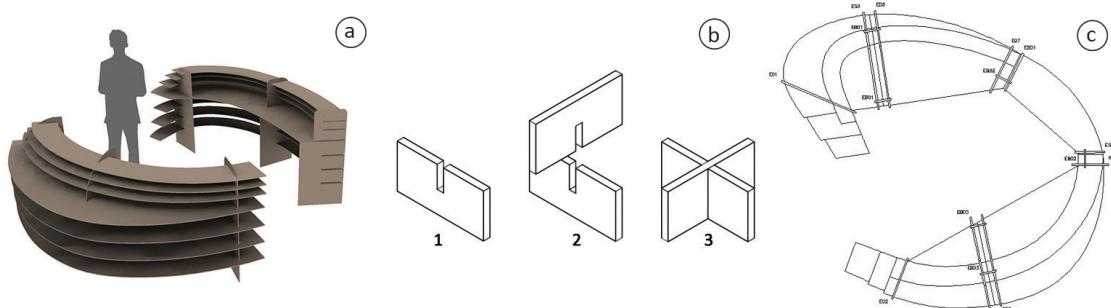
The objective of this paper is to show, by means of this design exercise, how information can be embedded in the models and prototypes produced along the design and production process, providing continuous feedback for the designer. Along the whole process, a series of different physical and virtual representations were produced. These were not simply representations. They contained lots of information about what was going on in the design process, such as the result of the finite element structural analysis or the stability of the different parts.

The design exercise consisted of developing a reception desk for the University’s Exploratory Science Museum. The desk should express the museum’s mission to promote the dissemination of scientific culture and technological innovation. The design was developed by students from the School of Civil Engineering and Architecture, both from undergraduate and graduate levels.

Initially, a group of undergraduate students working at the school’s experimental architecture office (EMOD) developed the design concept: a piece of furniture that could be used in different layouts (Figures 1a, c), which should be at the same time innovative and interesting, but also light and easy to move around, depending on the needs of each exhibition. The students proposed a curved desk made of three discrete parts, to be built with CNC-cut flat material, structured by egg-crate style joints (Figure 1b).

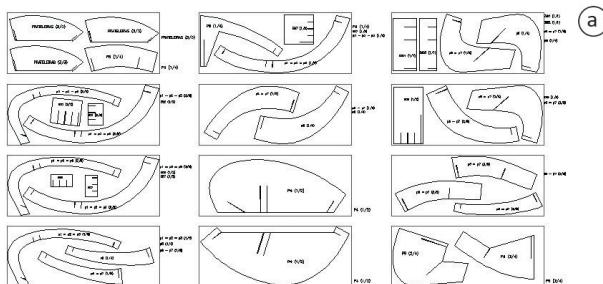
They produced 2D technical drawings (Figure 2a) using standard CAD software and made a laser-cut MDF scale model to check the joints and

* Definition from <http://dictionary.reference.com>.



the stability of the desk. The first problem encountered was the fact that the production drawings (Figure 2b) presented inconsistencies in many aspects, such as notch matching, continuity of curves and stability issues. Moreover, the width of the notches could not be updated automatically to adapt the design to different material widths. Full scale parts of the desk

Figure 1. (a) Initial desk concept. (b) Egg-crate type joint. (c) Initial desk concept plan.



were CNC-cut in 18 mm plywood to check different notch widths, span deflection, and the overall stability of the structure. The physical models showed that the structure would be very stable, but assembling the desk would be difficult because of the rigidity of the plywood. The possibility of using a more flexible sheet material, such as steel plate, was then considered. It was estimated that the metal sheet should not be thicker than 2 mm, or else the parts of the desk would be too heavy to be carried around. However, it was not clear if the horizontal surfaces would bend with the use of this thin metal sheet.

At this point, the team realized that the development of this project required an interdisciplinary approach to correctly resolve fabrication and structural problems. From this point on, this design exercise became a more complex project, involving a team of researchers from the Laboratory of Automation and Prototyping for Architecture and Construction (LAPAC).

Figure 2. (a) Nesting of the parts showing material consumption. (b) 1:20 MDF physical model of the initial design.

METHODOLOGY

The method with which the study was carried out was participatory action research. The authors were involved with the experiment from the earliest stages of the design process, passing through digital modeling and structural analysis until the production of the parts at a local industry. Tripp (2005, p. 445-446) considers action research a type of action inquiry that allows improving practice as the researcher has an active role during the investigation process:

Action Inquiry is a generic term for any process that follows a cycle in which one improves practice by systematically oscillating between taking action in the field of practice, and inquiring into it. One plans, implements, describes, and evaluates an improving change to one's practice, learning more about both the practice and action inquiry in the process.

An important part of the research was the documentation of the whole process, through the use of photographs as well as video shooting of the design and fabrication processes. This allowed further investigation of the procedures used in a reflexive manner and the evaluation of the process.

A parametric approach was then considered and Rhinoceros CAD software was used, with three different plugins: Grasshopper, for the parametric definition of the shape and parts connections; Scan-and-Solve and Ansys, for finite element computational structural analysis; and Rhino Nest, for optimizing the parts layout for fabrication. Besides, different rapid prototyping techniques were used: white and coloured 3D printing, laser cutting, and plasma cutting for final production (Figures 3a-c).



Figure 3. (a) Zcorp 3D printer. (b) Universal laser cutting system (c) Messer Multi Therm CNC plasma cutter.

From now on, the challenge was to design a 3D parametric model that would not only meet the client's brief but also comply with the automated production capabilities. This experiment are described in detail below, showing how the integrative aproach through the use of both virtual and physical models provided valuable feedback to the design process (Figure 4).

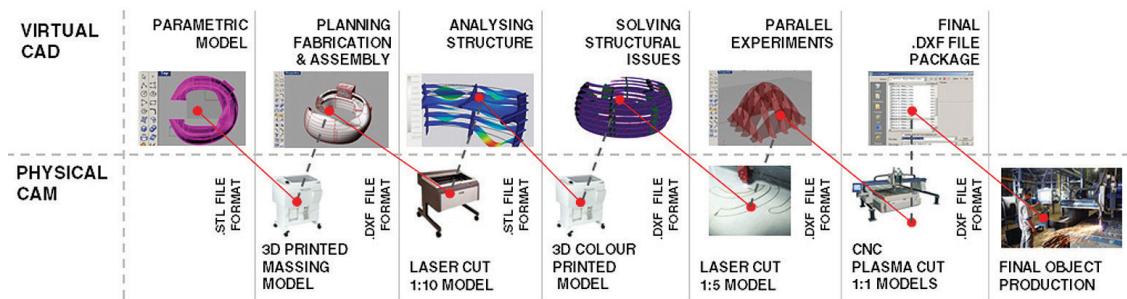


Figure 4. Virtual and physical workflow.

PARAMETRIC MODELING

Parametric design software are also known as "associative geometry" software. According to Burry (2003), this type of software makes the design process look like a search in a data bank. Along this path, design decisions are codified at the same time as shape is defined. These decisions can be retrieved at any point during the process.

In this exercise, Rhinoceros 3D-modeling software and the Grasshopper plugin were used to build a 3-dimensional parametric model. Rhino's interface allows to display in real time the rule-generated geometry built in Grasshopper. As the parameters set up in Grasshopper are modified, the model displayed in Rhino is simultaneously updated.

MASS STUDY

By developing an initial parametric mass model it was possible to easily generate a number of different variations of the basic shape. The search for the best alternative was initially conducted by aesthetic and ergonomic criteria.

The geometry of this initial mass model was generated by setting up a master curve on the base plane (Figure 5a). Next, this curve was divided into 8 equal segments. Each division point received a vertical plane, perpendicular to the master curve (Figures 5b). After that, a set of points that could be individually controlled by their x and y coordinates was positioned on each vertical plane (Figure 5c). Each of these sets of points were connected by a spline curve. Finally, a lofted geometry was generated by connecting all the spline curves (Figures 5d-f).

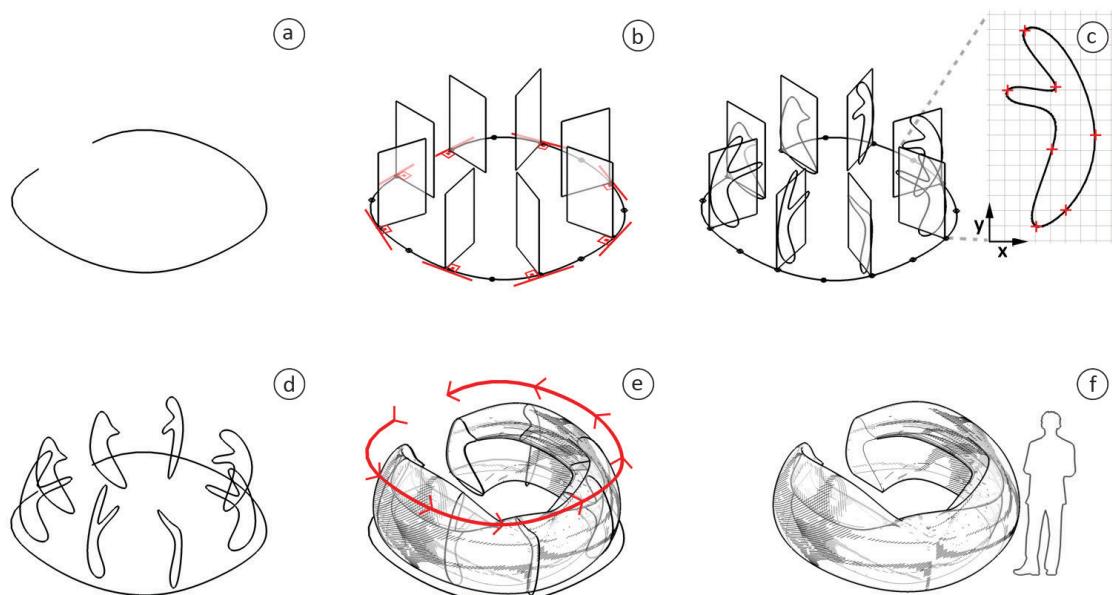


Figure 5. Steps in the generation of the mass model.

The possibility of controlling this mass model, through the manipulation of the x and y parameters of the points that defined each vertical spline, allowed using this model to dynamically search for the best shape (Figures 6a-c). It saved the time usually spent in adjusting and correcting the geometry that is common in traditional, non-associative design methods.

According to Francisco (2005, p. 21-23 apud DEAMER; BERNSTEIN, 2010, p. 30), that is exactly what parametric design tools are used for:

[...] establish particular relationships between predetermined elements so that a change in a variable will automatically result in a "chain reaction" between elements that have been programmed to react that way [...]

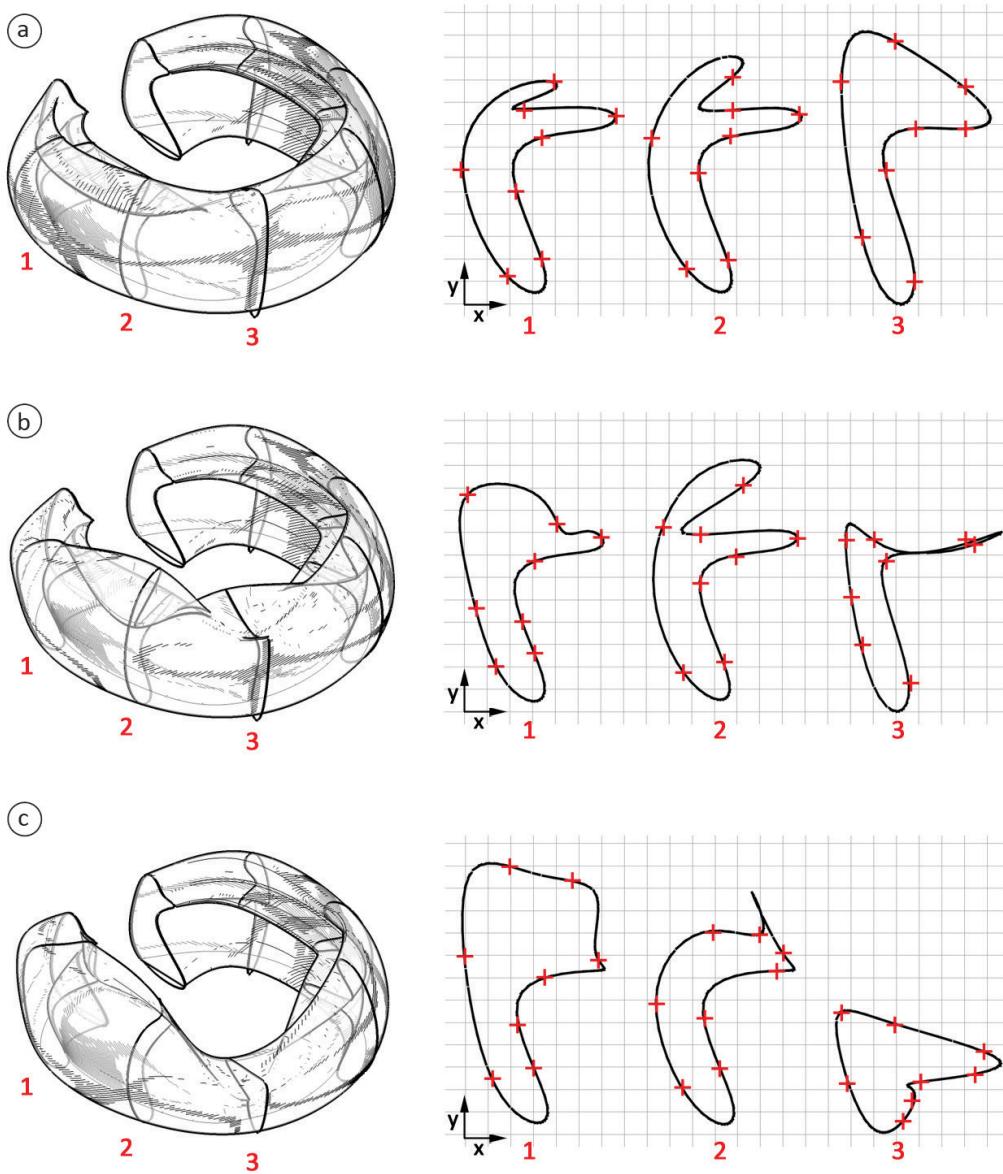


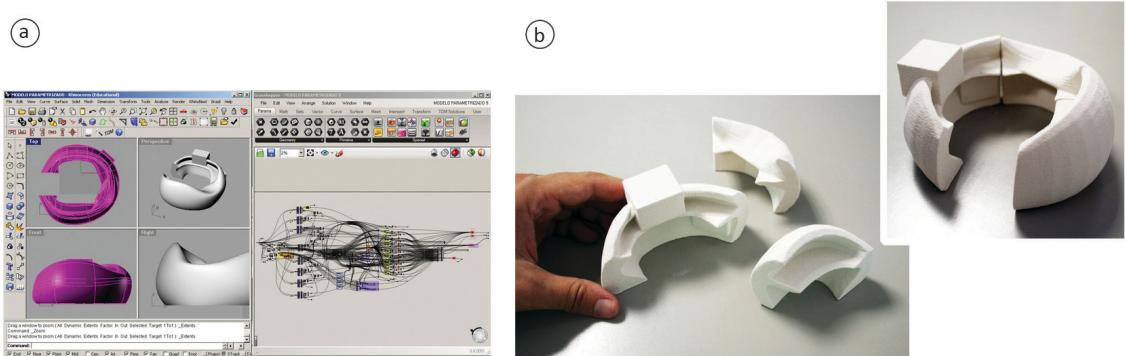
Figure 6. Three examples of parametric variations of the mass model, based on changes in the coordinates of the spline points.

CHECKING MASS STABILITY

The massing model was 3D-printed in order to be tested for stability. Adjustments were made to the parametric model to ensure that the desk would not tilt (Figures 7a, b).

PLANAR SECTIONS

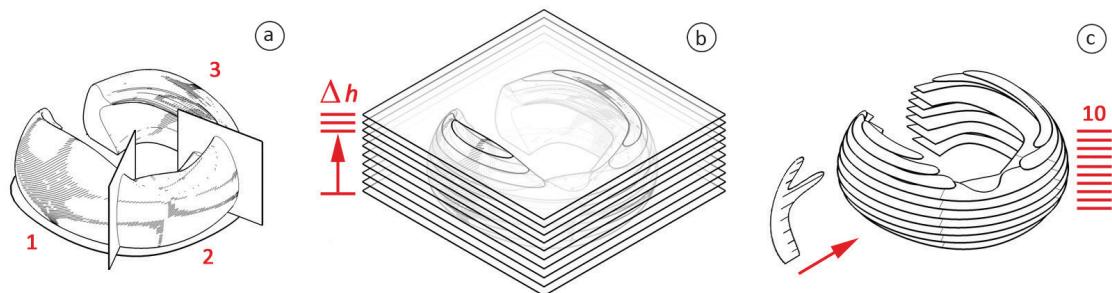
After the definition of the mass model, the parts of the object, such as the shelves and their vertical supports, were generated through planar sections. Firstly, two vertical planes were used to split the mass model in three separate parts. Next, a series of horizontal planes was created, with a parametric distance between them. The intersections between these planes and the mass model resulted in the shelves (Figures 8a). The variation of the distance between the planes (Δh) allowed to test different design alternatives (Figures 8b, c), in order to achieve the appropriate use of the shelves. Finally, each part was extruded at a parametrically defined thickness, which could be changed at any time.



CREATING THE NOTCHES

In order to physically build the model without the need of connection parts, the “egg-crate structure” strategy was used. With the parametric model it was possible to automatically generate the notches in the vertical and horizontal parts, through solid subtraction, as shown in (Figure 9a-c). This strategy allowed the notches to be automatically updated as the main curve and the vertical splines were changed.

Figure 7. (a) Parametric model defining final desk shape. (b) 3D-printed massing model.



GENERATING THE FABRICATION DRAWINGS

The scale models in this stage and the final object were produced with machines that can automatically cut flat materials, based on a digital file: a laser cutter and a plasma cutter. Thus, it was necessary to generate 2D digital drawings based on the 3D model. The RhinoNest plug in for Rhino was used to flatten the parts and organize them in the material sheets. Different cutting layouts had to be generated for the laser cutter and the plasma cutter, due to differences in each machine’s parameters, such as table size and security margin.

Figure 8. Section plane creation steps.

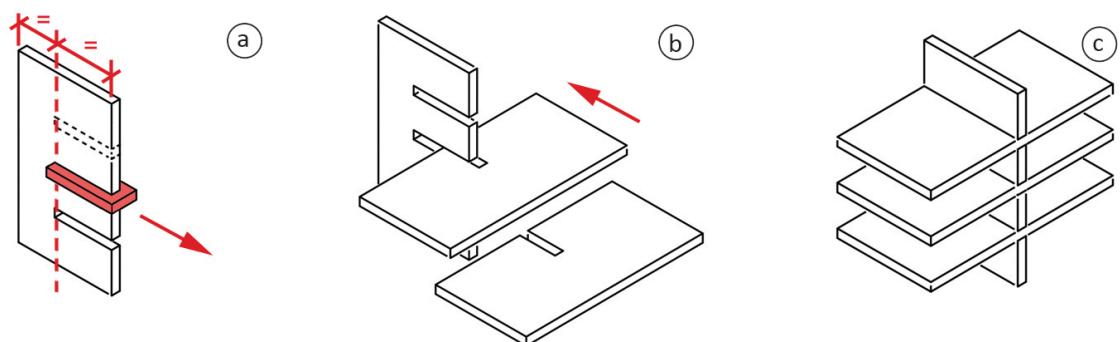


Figure 9. Automatic generation of the notches by solid subtraction.

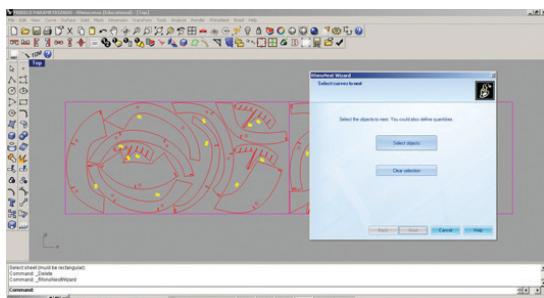


Figure 10. Optimizing parts in flat material surface.

This phase started with the alignment of all the object's parts on the horizontal base plane. Next, each part was automatically identified by the plugin with a number corresponding to its position in the 3D model. The parts were then automatically laid out by the plug in within the limits of the available sheet of material for each case (the cardboard used for the model and the metal sheet used for the final object). This operation was performed with the Rhino Nesting's "wizard" function (Figure 10).

ANALYZING THE STRUCTURE

In this stage Scan-and-Solve plug-in for Rhinoceros was used to generate a finite element model showing vulnerable areas, such as shelves with longer spans and cantilevered shelf ends (Figure 11a). However, the program could not predict the lateral instability observed in the physical scale model. The color-coded finite element analysis model was 3D-printed in color, to show the result of the analysis (Figure 11b).

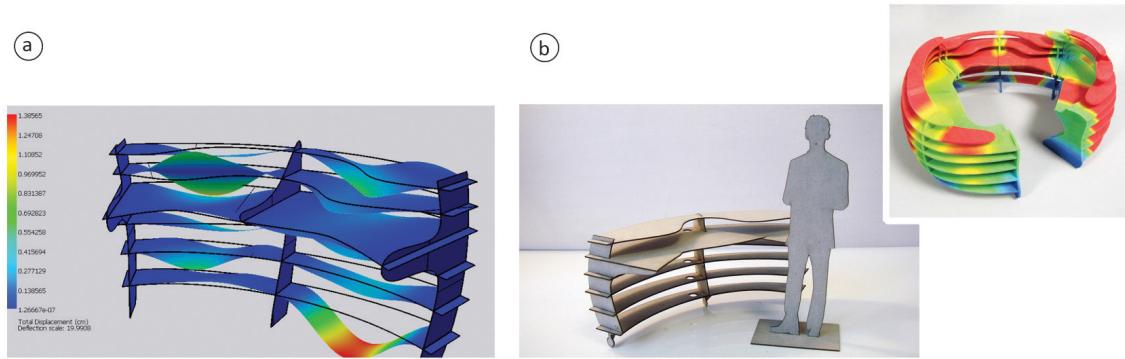


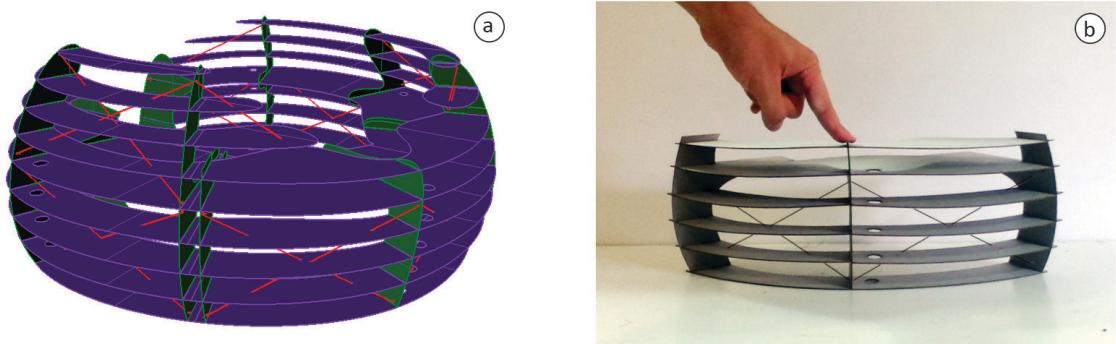
Figure 11. (a) Finite element analysis with Scan-and-Solve plug-in. (b) 1:10 laser cut model and full 3D coloured model.

Two structural problems were detected – horizontal surface deflection and lateral instability – and solved with different strategies. The first problem was solved with the introduction of metal beams under the longer shelves for structural reinforcement. The second problem was solved with cross cable bracing. Bracing was also used to hang the cantilevered shelf ends. Cylinders representing the bracing cables were introduced in the parametric model to correctly define perforations throughout intermediate shelves (Figure 12a).

At this stage larger scale laser-cut models (1:5) were produced to check the efficiency of the bracing and the beams under the shelves. In this model, 1.1mm thick cardboard was used to simulate the metal sheet flexibility and a thin copper wire represented the cross cable bracing, simulating deflection in the horizontal surfaces with longer spans and lateral stability correction (Figure 12b).

These solutions did not significantly increase the weight of the object, which would have happened if we had increased the thickness of the metal sheet. If MDF had been used, for example, the model would have seemed relatively more stable.

In order to have an immediate feedback of the structural performance of the designed object, we used a structural analysis plugin that was integrated in the parametric modeling software. This allowed to embed the performance information into the same model that was being used to generate shape and to resolve production issues. The plug-in used was Scan-and-Solve for Rhino.



Scan-and-Solve does not require a high knowledge of structural analysis by the user. It generates a simplified finite-element model. The finite-element method (FEM) was originally developed in the 1940's by Richard L. Courant (PELOSI, 2007). It consists of a numerical technique for finding "piecewise-linear approximants on a set of triangles" in order to solve complex structural analysis problems. FEM can also be applied to heat transfer, elasticity, vibration, hydrodynamics and other types of problems. One of the advantages of the FEM is the flexibility in manipulating parameters and making adjustments.

After being installed, Scan-and-Solve can be activated from Rhino's interface by typing "Sns" in the prompt or by clicking on its icon on the menu bar. Its interface consists of a window with three tabs: specifications, visualization and information about the plug-in (Figure 13).

Initially, a model with 2 mm-thick plates was "baked" from the Grasshopper model (converted from a parametric, instable model to a stable geometric model in Rhino). The process of analyzing the model started with the indication of the areas of reaction. In our case, the base plane of the vertical plates were selected as reaction areas. Next, one must specify the object's material properties. All the parts were specified as steel (Steel AISI 1020). The vertical and horizontal parts had to be unioned by a boolean operation, as if they were welded, because Scan-and-Solve only allows to analyze one object at a time, thus it does not allow to specify articulated connections between parts. Other elements, such as the object's wheels, were also not taken into account for the structural analysis.

In order to evaluate the precision of the Scan-and-Solve plug-in, the analysis of the geometric model of the museum's reception desk was also performed with a more sophisticated finite-element software, Ansys. This analysis was carried out by a structural engineer from CTI Renato Archer.

The main difference between the two applications was the limitation of Scan-and-Solve in simulating joints, while Ansys allows the analyses of each discrete structural parts and its connections. Scan-and-Solve currently only allows faces to be restrained. Although its website says that "future versions of Scan-and-Solve will feature the ability to restrain edges and vertices" (http://www.intact-solutions.com/sns_documents/faq.htm#lnr-1), this present limitation reduces considerably the accuracy of the results. Even though, Scan-and-Solve allows to understand structural behaviours that can easily remain unnoticed during a digital design process. A typical example is the visualization of parts of the model that are subject to bending or buckling due to insufficient thickness, for example. Scan-and-Solve's interface includes



Figure 13. Scan-and-Solve's interface.

a sliderbar with which this type of deformation can be exaggerated, thus pointing to the designer the need to reinforce certain parts of the object. The Figure 14 shows two graphic representations of the analysis performed with Scan-and-Solve. The color scale from blue (smaller) to red (higher) allows to easily visualize the concentration of Von Mises tensile stress in the different parts of the model. Instability situations are due to the ratio between the lenght of the overhang and the insuficient thickness of the plate.

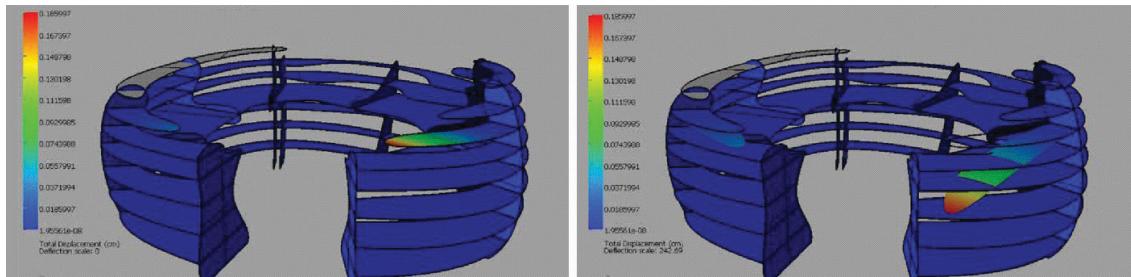


Figure 14. Structural analysis in Scan-and-Solve with two different loads.

Ansys, on the other hand, can consider virtually any type of link between the components of an object, because it can consider them as discrete parts. Thus, the variation in their thiknesses and the restriction in their connections, as well as exterior forces can be considered in the structural analysis.

Figure 15 shows two graphic results of the Ansys analysis of the model of the museum's reception desk, simulating the “egg-crate” connections. Although this analysis has a higher level of detail if compared to Figure 14, it is possible to say that the overall behavior of the two objects is very similar, especially regarding the bending of the longer shelves and overhangs.

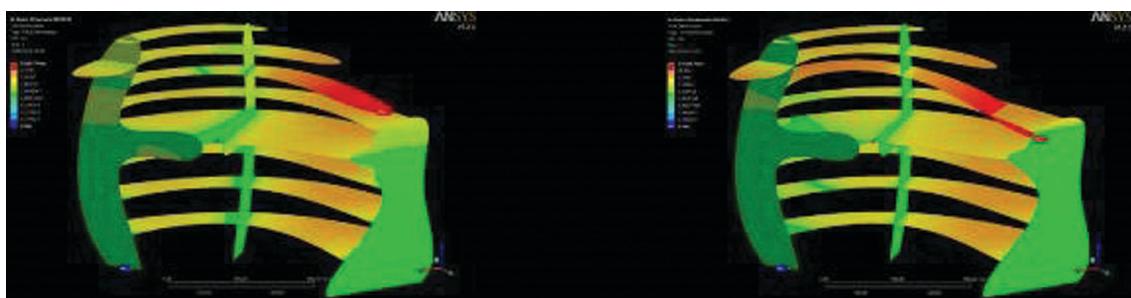


Figure 15. Structural analysis in Ansys with two different loads.

The main difference between the two analyses was the lenght of the deflection and the overall instability of the models. Scan-and-Solve shows only local, limited instabilities, while Ansys points out the need to stiffen the connections to achieve higher overall stability. In other words, Ansys can show the consequences of designing the connections with a greater degree of freedom towards a specific direction. If we run the analysis in Ansys considering all connections to be stiff, then the result is very similar to Scan-and-Solve's results. In this case, the main difference if the deflection: in the longer shelf it is 8,62 cm for no Scan-and-Solve and 9,10 cm for Ansys. This small difference is probably due to the input of material properties, which is much more accurate in Ansys, where properties such as elasticity, density and type of steel can be specified individually.

In order to better visualize the results of the structural analysis run in Scan-and-Solve, a physical model was produced with a 3D Spectrum Z510 color 3D-printer. Scan-and-Solve's "Bake" button allows to save the result of the analysis with or without the resulting deformations. The .3dm file was then exported as the two formats needed for the color 3D-printing: .png (portable network graphics), which contains the color image applied to the surface of the model; and .wrl which contains the geometry of the model. Both files were imported in the Z-print software and the scale model was thus produced (Figure 16).

Despite its limitations, it is possible to say that Scan-and-Solve is a good alternative for simulating real-world behavior of a digitally modeled shapes, especially in the case of monolithic, rigid structures. In the case of structures with flexible joints, it can still be used for preliminary results, which can then be refined with the use of more specific structural analysis software. In any case, the use of Scan-and-Solve in the initial steps of the design process can lead to better solutions regarding structural performance. The facts that it is embedded in a popular geometric modeling application (Rhino) and it has a very simple interface encourage its use even by those with limited knowledge of mechanics of materials and structural dimensioning.



Figure 16. 3D colour printing.

FABRICATION

In the past decade there has been an increasing application of computer-numerically-controlled machines in the production of building parts. CNC techniques, originally used in industries such as aerospace and ship-building, have recently started being incorporated in architecture production. This method of fabrication, which has been called "file-to-factory", eliminates the necessity of intermediate representations between the designer and the final building components. Authors such as Kolarevic (2003) have proposed that these new fabrication technologies, along with modeling and evaluation performance software, will challenge the traditional approach to design. However, even though architects have already become familiar to digital software to draw and model their designs, they are not ready for dealing with more specific production issues, such as CNC machine parameters, materials properties, and so on. As a result, the file-to-factory process is usually not so straightforward as it should be, requiring multiple adjustments and often getting stuck due to issues such as file format incompatibility.

The objective of this section is to show how it was important to get closer to the industry in order to find out which are the most typical difficulties in this type of process, and infer, from this experience, what architects should know to make it seamless. The importance of this approximation has been clearly stated by Kolarevic (2010, p. 71):

Knowing the production capabilities and availability of a particular digitally driven fabrication equipment enables designers to design specifically for the capabilities of those machines. The consequence is that designers are becoming much more directly involved in the fabrication process, since they create the information that is translated by fabricators directly into the control data, which drives the digital fabrication equipment.

The final piece production was carried out at a local plasma cutting company called Oxipress. Although this firm has invested in state of the art steel cutting machines, they are not used for producing complex design objects simply because there is no demand from their clients, its main field being simple mechanical parts (Figure 17).

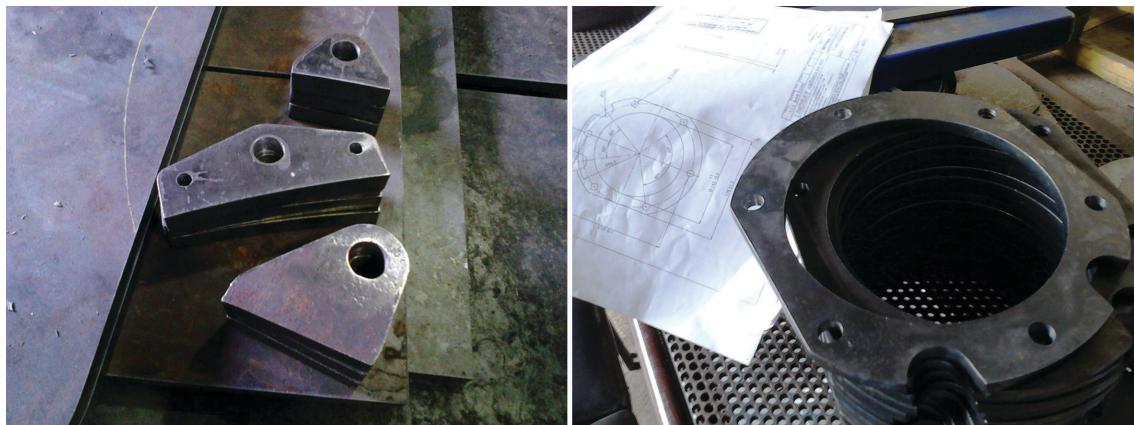


Figure 17. Parts commonly produced by the company's CNC plasma cut machines.

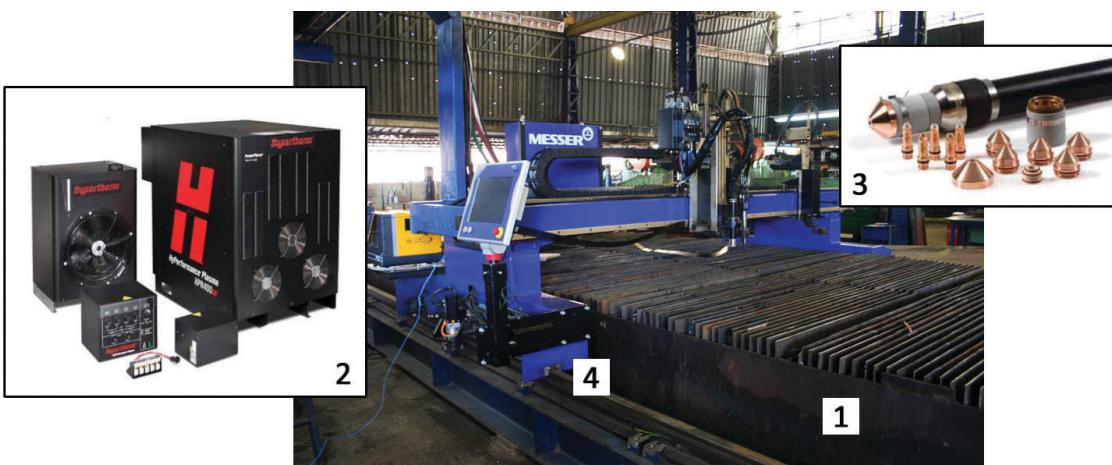
During this time, the authors followed the everyday production process, being able to experience from the early stages of the preparation of CAD files, through cutting steel sheet routines, until the final steps of assembling parts and post-processing. The idea was to learn about the capabilities of the machines and introduce a new scope of production in the factory.

The period of study in the factory was divided into two major steps:

- (A) Exploratory Stage, which involved the production of a series of experiments to investigate material properties and to learn about the capabilities of the CNC machines.
- (B) Production Stage, which allowed the implementation of the knowledge gathered in the previous stage to complete the file-to-factory process.

The equipment used during this study consists on a Messer Multi Therm 4x14m CNC machine with a Hypertherm HPR 400 plasma source supply capable of cutting up to 60 mm stainless steel sheets (Figure 18). The CNC machine is basically composed by the following set of parts: (1) a cutting table equipped with a smoke extraction system, (2) a power supply

Figure 18. Plasma CNC machine.



which provides the plasma arc starting circuit; (3) a torch that holds a set of consumables parts enabling an extremely constricted plasma arc and (4) a software that controls the process.

According to the manufacturer's 'these system components provide the electrical energy, ionization capability, and process control that is necessary to produce high quality, highly productive cuts on a variety of different materials**.

During the development of the Exploratory Stage in the factory, it was necessary to perform a series of experiments related to a range of issues, such as assembly of the parts, thickness of the cuts, and so on. During the fabrication process, many adjustments had to be made in the design to comply with the material's properties. The close contact with the factory's team allowed for a better transition between the original files and the CNC machine files. This experience resulted not just in an original piece of design, but also in an invaluable body of knowledge about the file-to-factory method.

The first experiment was a plasma cut test. The purpose of this excercise was to understand the basic procedures and functionality of the CNC machine, as well as the behavior of three different materials: carbon steel, stainless steel and aluminum. A set of irregular sized shapes was cut in three 400 x 400 x 2 mm plates to perform the tests.

The designs were generated through a parametric rule using Grasshopper plug-in for Rhinoceros CAD software and the 2D information saved as .dxf file format in layer 0. It is important to note that there was no text or dimensional lines in the drawing. Then the file was e-mailed to the company's engineering department for the following procedures: check the file for drawing or layer mistakes, check the pieces size and thickness to match material availability and check machine time consumption to inform the production schedule. These procedures are compulsory for any file submission to this particular CNC machine avoiding software malfunction.

The first material to be cutted was the stainless steel plate (Figure 19). This type of steel is popular for its corrosion-resistant properties and its hardness. For this reason it is required that a particular set of consumable parts are placed in the torch to match the material's specifications, in order to perform a good cut.



Next, the cutting process was performed on the carbon steel and the aluminum plates. Each of these materials was cut with its specific set of consumables (Figure 20). These consumable parts control the size and the shape of the plasma arc and they eventualy wear out and need to be replaced. Thus, another important information that arised was the fact that multiple initial piercings, to cut isolated shapes, would cause a higher expenditure of consumables in the torch, shortening its lifetime. This could be a point to

Figure 19. CNC plasma cutting process showing different designs.

** Information available at Hypertherm 'Training and Education': www.hypertherm.com



Figure 20. Changing torch consumable parts (photos by Wilson Barbosa).

be considered at the initial steps of the design process, since the higher the consumables consumption is, the higher will be the final production cost.

Moreover, it can be suggested, when suitable to design, that multiple shapes could be arranged to be cut from a single perforation, as shown in Figure 21.

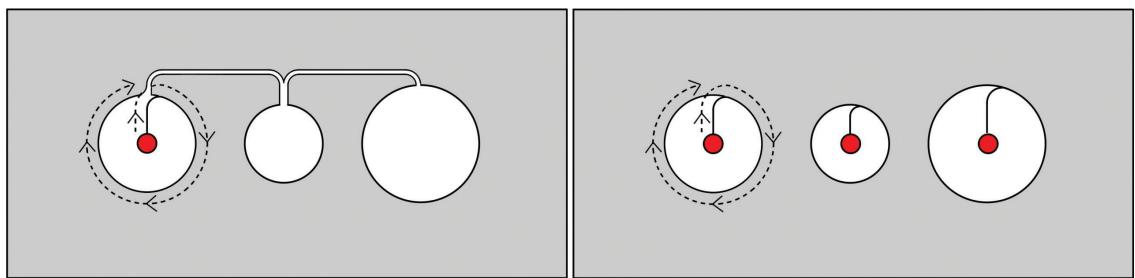


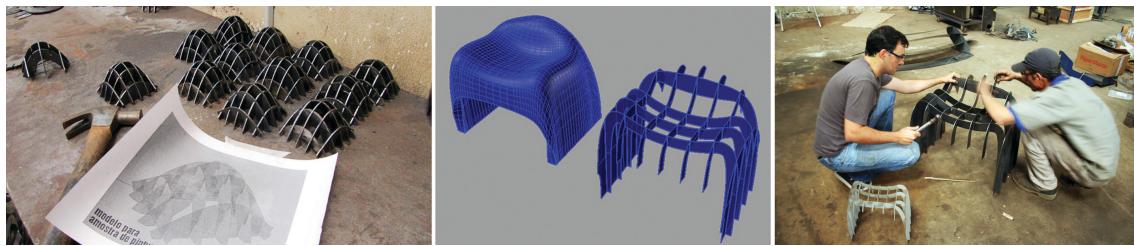
Figure 21. Scheme showing multiple shapes perforation with a single piercing point.

To evaluate the most appropriate connection between two 2 mm-thick transversal pieces of plates, a second test was performed. This type of junction between plates is commonly known as egg-crate fitting, where a notch is cut on both parts (Figure 22a). Firstly a 3D model of a simple structure containing notches with five different widths was developed in Rhino/Grasshopper and 2D vector files were produced to be sent to the machine, as described above. Next, each piece was cut in a 2 mm carbon steel plate. Each notch in this drawing had slightly different widths, varying from 2.1 mm to 2.6 mm (Figure 22b). When the parts were assembled it was possible to observe some relevant issues. Although in the first option the notch was thicker than the material, the parts did not fit. A closer look revealed that the notches were obstructed by the material waste (Figure 22c), due to the cutting process, and had to be removed manually with an orbital sander.

Depending on the part dimensions or the number of parts produced it would be too difficult or take a long time to manually fix each of the notches for best fitting. To improve notch cut, a couple of slightly different egg-crate structures were developed. At this stage, two 3D parametric models were designed with a more complex shape to further evaluate fittings: (1) a small size curved egg-crate sample and (2) a full size egg-crate chair (Figure 23).

Figure 22. Both virtual model and physical prototype of fitting sample.



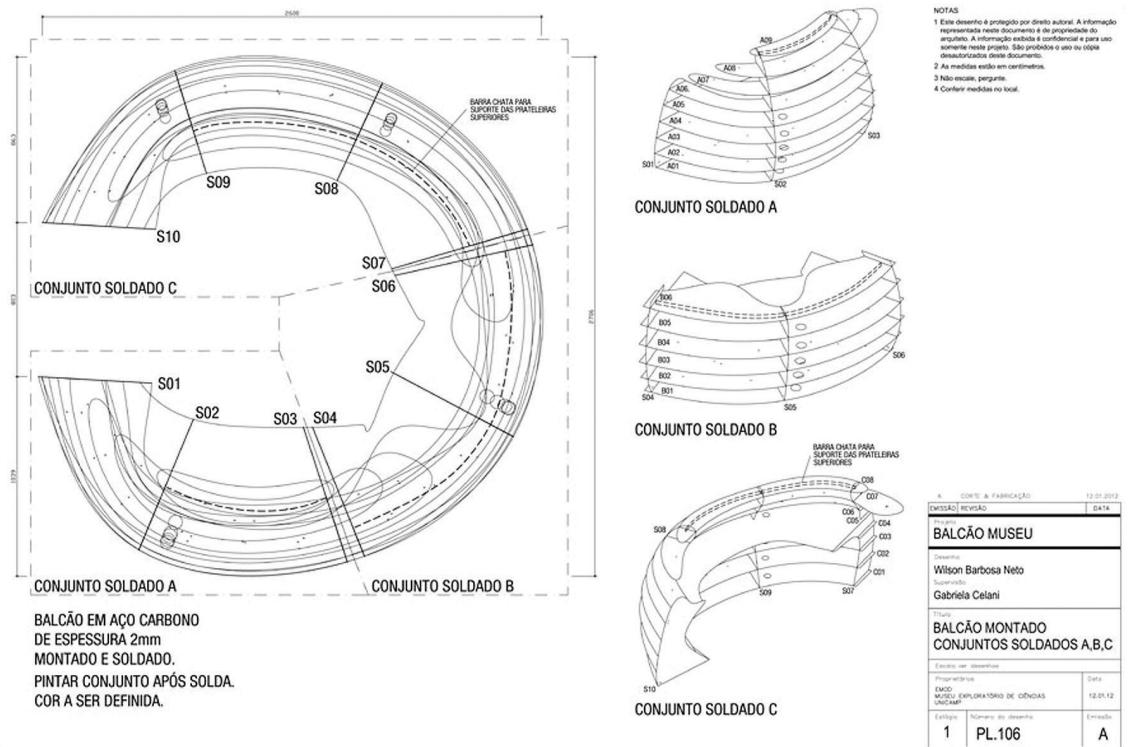


Both prototypes were made with the same 2 mm-thick carbon still sheet used in the previous experiment. However, the notch thickness was set-up as 3 mm wide, allowing a correction-free notch and a perfect loose fitting. Then, the parts were assembled and its joints welded together to make a stable structure. Fifteen small size egg-crate samples were made to be submitted to different painting treatments.

After the completion of the exploratory stage it was possible to transform the gathered information into design principles that would lead to a quite seamless production process. The entire object was made from 33 individual

Figure 23. Images of both egg-crate experiments virtual models and physical prototypes.

Figure 24. CNC plasma cutting process.



parts. The 2D information of each part was saved in a separately .dxf file under layer 0. Then, the 33 CAD files were e-mailed as a compressed file format package to the company's engineering department for 'nesting' set up and other procedures described above. Regarding material consumption efficiency while cutting the parts, the 'nesting' process can be considered the most important step. The word 'nesting' is defined as 'the process of efficiently manufacturing parts from flat raw material***'. So, the better the optimization of the parts on the material surface is, less will be its consumption and, consequently, product final cost.

Next, the entire file package was imported in a specific nesting software and its 2D information arranged on 1200 x 3000 x 2 mm thick carbon steel sheets, which resulted in a material consumption of 16 plates. After that, the nesting files were placed inside the 'job order' folder where they could be accessed by the CNC machine operator. The plasma cutting process took approximatley 7 hours (Figure 24).

After the parts had been cut they were manually tagged according to design. The pieces were transported to the metalworking shop and then separated by assembling order. Two workers were necessary to move the parts and position them for assembling and welding the joints. In order to compensate for the flexion of certain parts of the object, in special the cantilevered parts of the shelves, a metal ribbon was welded underneath them. This part of the production process took two days (Figure 25).

Figure 25. Assembling and welding process.



CONCLUSION

The design exercise herein described allowed us to draw conclusions related to the use of integrated software and to the use of physical models in the design process. The experiment showed the importance of integrating virtual and physical models in order to solve structural and fabrication issues.

The use of physical models in different scales and with different materials along the different stages of the design process was fundamental to achieving a successful result. Even in a small scale and with different material properties one can identify possible structural problems in physical models that cannot be seen in virtual models.

The finite element analysis plugin was important for predicting structural vulnerabilities, which were displayed in a visual color-coded language, directly on the parametric modelling environment, without requiring further knowledge in structural analysis. However, this evaluation by itself could not have given us all the responses needed as it could only demonstrate the object's weakness due to vertical load. Lateral instability and the solutions for it could only be evaluated by physical models and full scale prototypes. Despite the limitations of the structural analysis plug-in, the integration of parametric definition, generation of STL files for 3D-printing, structural

*** Definition from wikipedia.org

analysis and the automated generation of layouts for laser and plasma cutting within a single CAD environment was very positive.

In summary, it is possible to say that this exercise illustrates an integrative design process combined with the advances of fabrication, using both computational and physical modeling. In this case, fabrication cannot be seen as just an output of a virtual modelling technique; it is completely intertwined in the design process, with an impact on the object's final form. According to Oxman (2006, p. 242).

Digital technology has contributed to the emergence of new roles for the designer according to the nature of his interaction with the media. The designer today interacts with, controls and moderates generative and performative processes and mechanisms. Information has become a 'new material' for the designer.

We hope that the description of this design exercise can be applied to other design situations, and thus be used as a systematic method for integrative design.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Brazilian research agencies CAPES and CNPq for funding this research; Pedro Noritomi from CTI Renato Archer for helping with structural analysis software; Marcelo Oliveira from CTI Renato Archer for producing the color 3D printd model; Oxipress Steel-Cutting Company for providing the plasma cutting machine and other related technologies; Prof. Marcelo Firer, head of Unicamp's Exploratory Science Museum, for supporting this project; and all the people involved in the design and fabrication processes, including the students from EMOD and the researchers at the Laboratory for Automation and Prototyping for Architecture and Construction (LAPAC), where the research was carried out.

REFERENCES

- BURRY, M. Between Intuition and process: Parametric design and rapid prototyping. In: KOLAREVIC, B. (Ed.). **Architecture in the digital age: Design and manufacturing**. Londres: Taylor & Francis Group, 2003.
- DEAMER, P.; BERNSTEIN, P. Building (in) the future. New Haven: Yale School of Architecture, 2010.
- KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. Oxon: Taylor & Francis Group, 2003. 314 p.
- KOLAREVIC, B. Towards integrative design. **International Journal of Architectural Computing**, v. 3, n. 7, p. 335-344, 2009. <http://dx.doi.org/10.1260/147807709789621248>
- KOLAREVIC, B. Between conception and production. In: DEAMER, P.; BERNSTEIN, P. **Building (in) the future**. New Haven: Yale School of Architecture, 2010.
- OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- PELOSI, G. The Finite-element method. **Antennas and Propagation Magazine**, v. 49, n. 2, p. 180-182, 2007. <http://dx.doi.org/10.1109/MAP.2007.376627>
- TRIPP, D. Action research: A methodological introduction. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>

Correspondência

Wilson Barbosa Neto, wbarbosa@fec.unicamp.br
André Araújo, a.araujo@fec.unicamp.br
Guilherme Carvalho, giantinigui@gmail.com
Gabriela Celani, celani@fec.unicamp.br

ANÁLISE DO PROCESSO DE PERSONALIZAÇÃO DE PROJETOS DE APARTAMENTOS NA ETAPA DE CONSTRUÇÃO: ESTUDO DE CASO

Customization Process of Apartments Design Analysed During the Construction Phase: a Case Study

Taíssa Modesto Azevedo Falconi¹, Douglas Queiroz Brandão²

RESUMO Diante de um mercado competitivo, o setor da construção civil incluiu como estratégia comercial o oferecimento da personalização de projetos, procurando atender um público mais exigente e que procura por produtos diferenciados. Ao cliente é dada a possibilidade de adaptar, adequar e ajustar o projeto às suas necessidades individuais. Os projetos podem ser flexíveis quando possibilitam mais de um arranjo espacial, diferentes usos e ampliações, mas pode existir flexibilidade também a partir de uma planta única, quando são permitidas alterações durante a fase de vendas e de execução da obra. Mas tais modificações trazem dificuldades e problemas para a construtora, sendo necessária a definição de um controle de processos eficiente, incluindo formas de comunicação claras entre empresa e comprador e também entre os setores participantes do processo de produção. Este estudo, realizado em uma construtora da cidade de Cuiabá, Mato Grosso, foi realizado em duas etapas. Na primeira desenvolveu-se uma pesquisa documental, além de observações de campo, entrevista não estruturada e reconstituição dos processos, para entender os procedimentos adotados pela empresa para permitir alterações no projeto solicitadas pelos compradores. Foram levantadas as dificuldades e os principais problemas com a adoção da personalização pela empresa construtora, inclusive os conflitos ocorridos entre os participantes envolvidos. Na segunda etapa do trabalho foram propostas diretrizes e um novo modelo de processo, visando minimizar os problemas nestes serviços. Há vários níveis de customização, mas permitir modificações livres constitui uma estratégia que impõe desafios à empresa, passando esta a operar de forma reativa.

PALAVRAS-CHAVE Personalização, processo de trabalho, construção civil, edificações residenciais.

ABSTRACT Facing a highly competitive market the construction industry sought as one of the business strategies to offer housing customization. This practice focuses on results that meet a demanding public which search of differentiated products. To the client is permitted to adapt his housing unit fitting it to his preferences. The flexibility is promoted when various layouts are offered to the same housing design with different possibilities to use, to expand or to change the spaces. To offer a unique layout is other way to propose flexibility when is permitted free modifications during the selling and construction phases. But this method of attending the clients results in difficulties to the construction enterprise in order to define an efficient process control. Other problems are the unclear communication with the clients and between the departments of the construction company. This case study was conducted in two stages, analyzing a building enterprise from Cuiabá, Mato Grosso. In the first step, documentary research, field observations, unstructured interview and diagnosis were executed in order to support the understanding of the business process customization which have been developed by the company including the difficulties and conflicts in the interfaces generated between the agents involved. In the second stage guidelines and a new flowchart of the customization process were developed and proposed to the company. It is expected that these results can diminish the problems for the services generated by the customization process.

KEYWORDS Customization, work process, civil construction, residential buildings.

How to cite this article:

FALCONI, T. M. A.; BRANDÃO, D. Q. Análise do processo de personalização de projetos de apartamentos na etapa de construção: estudo de caso. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 71-95, jul./dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i2.75740>

Fonte de financiamento:
Declararam não haver.

Conflito de interesse:
Declararam não haver.

Submetido em: 05 mar. 2014
Aceito em: 19 dez. 2014

INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou nos últimos anos um crescimento econômico com maior distribuição de renda, mercado de compra e venda diversificada, incentivo à produção e às indústrias. A construção civil é um exemplo de acompanhamento deste crescimento com a existência de grandes obras e investimentos no setor.

O mercado imobiliário tem procurado oferecer produtos que possuam demanda específica e adequada ao maior grau de exigência dos clientes, uma vez que estes possuem diferentes necessidades e desejos. Na construção civil, onde a concorrência se mostra crescente, é necessário implantar progressivamente mecanismos que busquem economia, satisfação do cliente e qualidade, fatores que podem ser atingidos através da aplicação de estratégias de adequação da habitação ao seu comprador.

A personalização é um elemento de coesão entre as necessidades dos clientes e o que as construtoras podem oferecer. No entanto, é uma estratégia que traz dificuldades para o sistema de produção, na medida em que o produto (unidade habitacional) deixa de ser padronizado. A personalização acaba por permitir modificações que não são definidas no projeto original, exigindo maior capacidade de resposta e maior integração entre os diferentes setores ou departamentos da empresa, além da necessidade de manter qualidade e prazos de entrega.

Ao disponibilizarem seus projetos personalizados as construtoras buscam a qualidade e adequação dos produtos às exigências e gostos dos clientes. Mas é uma estratégia de negócio que deve estar intimamente ligada com a estratégia de produção.

As construtoras ao adotarem um processo de personalização para seus imóveis devem levar em consideração suas próprias necessidades, interesses e características, desenvolvendo um planejamento adaptado à sua realidade e buscando a melhoria contínua no gerenciamento de seus processos. Mas, para propiciar personalização, deve-se planejar e definir estratégias proativas.

A troca de informações entre o cliente e a construtora é muito importante para a garantia no atendimento das necessidades e expectativas dos mesmos, mas ainda costuma ser um ponto falho no processo. A comunicação eficiente entre os setores internos da empresa é também fundamental. Muitas vezes, cada departamento desenvolve seu serviço isoladamente, de maneira mais fácil e rápida, deixando lacunas e fazendo com que o processo não funcione adequadamente.

Este artigo se baseia nas informações fornecidas por uma construtora acerca do processo de personalização executado, pesquisa esta realizada na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, em 2013. Os autores fazem parte do Grupo Multidisciplinar de Estudos da Habitação e o estudo foi desenvolvido na Universidade Federal de Mato Grosso, no desenvolvimento de uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental.

Neste estudo de caso único, a empresa se mostrou interessada na melhoria do seu processo de personalização que era feito de forma quase informal, atendendo seus clientes de forma reativa. O objetivo deste estudo foi rever o processo e propor uma sistemática formal, adaptada à forma de trabalhar da empresa e aos segmentos do mercado imobiliário em que a mesma atua.

QUESTÕES DA PESQUISA

Inicialmente foi realizado o levantamento do processo de personalização em vigor na empresa. As questões que orientaram a investigação foram:

- 1) Como a construtora oferece a personalização do imóvel ao cliente?
Como ocorre o processo de personalização das unidades residenciais

- construídas pela empresa e como é feita a adequação dos produtos oferecidos?
- 2) Quais os principais dificuldades relativas a produção, qualidade e atendimento ao cliente, encontrados pela empresa ao adotar o processo de personalização?

OBJETIVO

Teve-se como objetivo analisar o processo de personalização de projetos realizados por uma construtora com obras residenciais verticais na cidade de Cuiabá, e, a partir dos problemas detectados, desenvolver uma proposta com vistas a formalizar e padronizar os procedimentos, adaptada às características da empresa.

A pesquisa realizada se caracteriza como um estudo de caso, onde as informações foram levantadas através de observações, entrevista não estruturada e coleta de dados. Apenas uma empresa se mostrou interessada no estudo, havendo dificuldade em se encontrar outras que fossem abertas à pesquisa e que disponibilizassem seus profissionais à participação.

PERSONALIZAÇÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

DEMANDA POR FLEXIBILIDADE E SATISFAÇÃO DOS CLIENTES

A adaptação de abrigos por seus moradores para satisfazer suas diferentes necessidades sempre fez parte da história da habitação humana. Quando as sociedades eram nômades, a capacidade de adaptação foi relativamente fácil, uma vez que a realização se dava pelo morador, com mudanças de lugar para lugar de forma simples. Quando as pessoas resolveram ter melhores condições de habitação, naturalmente tudo mudou (FRIEDMAN, 2002).

A demanda por residências personalizadas é encontrada de formas diversas. As diferenças se devem a fatores vários: necessidades individuais, sociais, demográficas, econômicas, novas configurações familiares, ciclo de vida, hábitos modernos (como o trabalho em casa, por exemplo). As modificações ocorrem em termos de espaço, área desejada, ambientes necessários, número de cômodos, disposição dos mesmos, equipamentos e instalações, materiais de acabamento e características estéticas.

Campanholo (1999) explica que a personalização surge com mais força com o passar dos anos, através do aumento do poder econômico de parte da população que busca algo para satisfação de suas necessidades individualizadas.

Segundo Frutos (2000), uma nova organização de administração da produção surgiu em anos recentes, na qual a variedade e personalização suplantam produtos padronizados. Mercados heterogêneos e fragmentados surgem onde antes havia mercados homogêneos. As empresas têm descartado o velho paradigma da produção em massa através da aplicação de tecnologias e novos métodos de gestão, criando variedades e personalização com flexibilidade e respostas rápidas.

O incremento do poder econômico da população tem aumentado a demanda pela aquisição de imóveis residenciais e os clientes estão cada vez mais exigentes, buscando algo que se adapte ao seu modo de vida. A construção civil encontrou na personalização uma forma de alavancar as vendas de imóveis, oferecendo ao cliente a possibilidade de adaptar, adequar e ajustar o projeto às necessidades individuais de cada usuário.

Weinschenck (2012) relata que um projeto flexível é aquele que possibilita uma gama de arranjos espaciais, usos e ampliações, sem inviabilizar o uso

da edificação original durante a obra e sem que sejam necessárias grandes alterações na mesma.

Brandão (1997, 2002) define a classificação da flexibilidade quanto à estratégia de comercialização. Neste sentido, a flexibilidade pode ser permitida ou planejada. Na *flexibilidade planejada* os clientes têm a opção de escolha oferecida pela empresa através de arranjos alternativos, com opções de plantas e acabamentos para o mesmo imóvel. Na *flexibilidade permitida*, por sua vez, apenas uma opção é dada ao cliente, seja de layout ou de acabamentos, atendendo aos pedidos viáveis de modificação do projeto pelo comprador, adaptando a moradia.

Outra classificação muito utilizada é de âmbito temporal. Segundo Sebestyen (1978), a flexibilidade pode ser *inicial*, quando permite adaptações para o primeiro ocupante ou usuário e *contínua*, quando há elementos (operadores¹) versáteis, que permitem isolar ou integrar ambientes, promover mudanças de fácil intervenção por parte do usuário. No caso do presente estudo, focaliza-se, portanto, a flexibilidade inicial e a flexibilidade permitida.

E quanto às formas de se propor a flexibilidade em termos de projeto arquitetônico, Brandão (2002) relaciona cinco situações: (a) *diversidade tipológica*, prévia concepção de plantas diferentes, com variadas unidades-tipo em um mesmo edifício, quando não são permitidas alterações; (b) *flexibilidade propriamente dita* ou *flexibilidade de compartimentação*, quando são definidos variados layouts de fácil conversão ou transformação, embora seja necessária intervenção construtiva (Figura 1); (c) *adaptabilidade*, quando a função é definida por meio do mobiliário, divisórias móveis ou pela versatilidade na utilização do mobiliário, podendo, inclusive, possibilitar funções simultâneas para um mesmo ambiente; (d) *ampliabilidade*, aplicado ao caso de habitações unifamiliares evolutivas, quando são oferecidas opções de ampliar a casa mínima ou a habitação-embrião, estratégia que também é conhecida como elasticidade; (e) *junção/desmembramento*, casos de junção de duas unidades residenciais para formar uma maior e, também, o caso contrário, quando uma unidade é desmembrada em duas.

COMUNICAÇÃO CLIENTE-EMPRESA

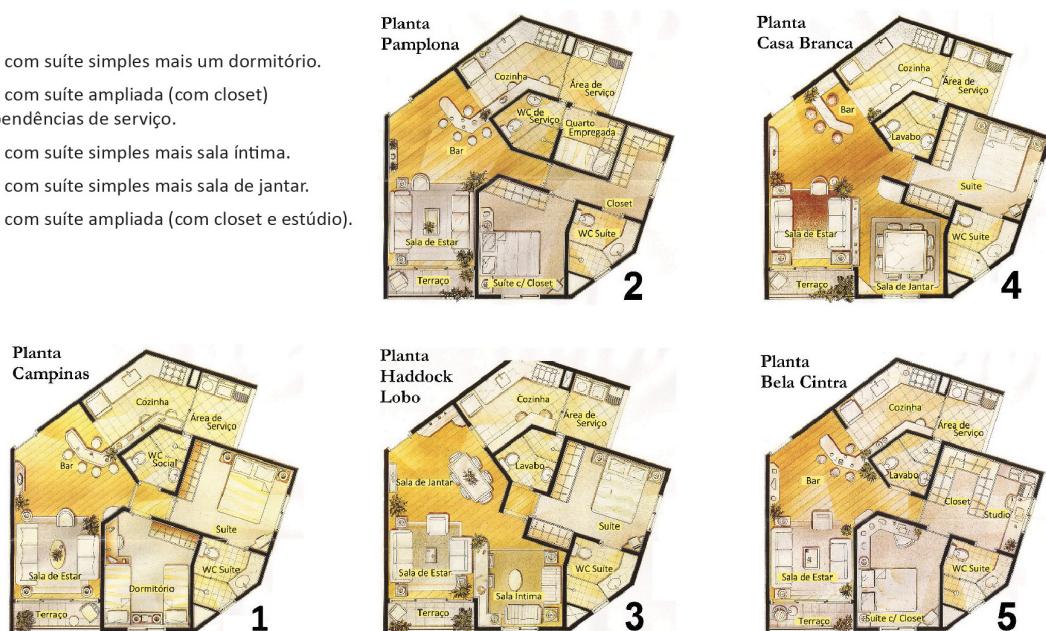
Caracterizada pela integração entre cliente e empresa – no projeto, produção, estratégia e serviços, a personalização de produtos e serviços representa hoje uma importante estratégia de negócios. Personalizar um produto produzido em série, refere-se à habilidade de fornecer produtos e serviços projetados individualmente para cada usuário através de processo de grande flexibilidade e integração (WEINSCHENCK, 2012).

Frutos (2000) comenta que as empresas construtoras devem buscar em seus planos estratégicos não somente melhorar a eficiência dos processos construtivos (por meio de programas de qualidade e produtividade), mas também ampliar qualitativa e quantitativamente os atributos dos imóveis ofertados através da integração do cliente com o projeto de seu futuro imóvel. Estabelecer uma interação constante entre cliente e empresa é um dos requisitos fundamentais para a definição de um ambiente ágil de negócios.

Para Koskela (2000 apud TILLMANN, 2008), a geração de valor para os clientes depende da captação e do eficaz gerenciamento dos seus requisitos ao longo do desenvolvimento e da produção de um determinado produto. Requisitos dos clientes são informações obtidas através do levantamento de

¹ Operadores, conforme visto em Paiva (2002), são os elementos ou dispositivos que permitem alterar o espaço de forma fácil e rápida pelo próprio usuário no dia a dia, ou com certa frequência. São exemplos: painéis ou portas de correr, sanfonadas, dobráveis ou pivotantes; divisórias leves removíveis, divisão de ambientes com mobiliários, etc.

1. Opção com suíte simples mais um dormitório.
2. Opção com suíte ampliada (com closet) mais dependências de serviço.
3. Opção com suíte simples mais sala íntima.
4. Opção com suíte simples mais sala de jantar.
5. Opção com suíte ampliada (com closet e estúdio).



necessidades e de expectativas, que de forma agrupada podem definir as características de um determinado produto.

Desde as etapas iniciais do processo de produção do produto, como explicou Rozenfeld et al. (2006 apud TILLMANN, 2008) a empresa deve apresentar a preocupação com a geração de valor aos clientes, através da identificação dos requisitos do público alvo para o qual está sendo desenvolvido o produto.

A retroalimentação com o cliente é, sem dúvida alguma, fundamental. Informações percebidas, coletadas com os próprios usuários devem ser estudadas e incorporadas nos projetos desenvolvidos. Desta forma o atendimento das expectativas e as adequações necessárias executadas em empreendimentos anteriores poderão fazer parte de um banco de dados que servirá de embasamento na concepção de futuros empreendimentos.

DIFÍCULDADES GERADAS PELA PERSONALIZAÇÃO

Um empreendimento personalizado é um produto mais complexo que o convencional, portanto requer maior atenção na administração de sua execução (CARVALHO, 2004). Saldanha e Solto (1998) apontam a personalização como principal causa das frequentes modificações de projetos durante a obra, resultando em execução de forma desordenada.

É necessário traçar diretrizes em empreendimentos personalizados para que a partir de uma administração adequada sejam evitados problemas como atrasos no cronograma e custos adicionais advindos de retrabalhos desnecessários (BRANDÃO, 1997). Este mesmo autor, já comentava, a partir de acompanhamento de obras de edifícios residenciais na cidade de Florianópolis, no final dos anos 1990, que a maioria dos casos de pequenas personalizações gera atitudes reativas e desorganizadas por parte das empresas, como: (a) a falta de sistemática e procedimentos específicos para a gestão do processo de personalização; (b) o tratamento dos pedidos de alteração como algo imprevisto; (c) a precária coordenação de projetos e a inexistência de projetos executivos necessários à personalização ou a desatualização dos projetos; (d) indefinição de responsabilidades no

Figura 1. Exemplo de flexibilidade de compartimentação: Residencial Jardin's Evolution Home, bairro Jardins, São Paulo, 1996, apartamentos com 60 m².
Fonte: Brandão (2002).

processo, além da retenção do conhecimento sobre as modificações por um único membro da equipe; (e) a falta de assessoria ao cliente, além de um apropriado local para diálogo com o mesmo e para a mostra de materiais de acabamento; (f) falta de normas internas tanto para a adequada orientação dos clientes como da própria equipe da empresa responsável pela realização da personalização.

Santana, Oliveira e Meira (2008) reforçam as dificuldades e problemas advindos da personalização, dizendo que esta constitui uma prática muito complexa, que exige o emprego de mão de obra qualificada, bom planejamento e controle da construção, além da adoção de técnicas que facilitem sua aplicação. Isto porque, quando mal administrada, a personalização pode proporcionar gastos desnecessários, retrabalhos, atrasos na finalização da obra e principalmente, pode gerar um produto de baixa qualidade.

Outro fator importante a ser destacado no processo da personalização diz respeito à fase de planejamento. A escolha adequada da tecnologia construtiva a ser adotada no empreendimento personalizado é essencial para o planejamento da obra. Prazos, custos, cronogramas, níveis de perdas, logística de obra, dentre outros, são influenciados pelos sistemas e processos construtivos. Estes, por sua vez, devem ser definidos antes da elaboração dos projetos.

Pagliaroni (2013), ao estudar quatro empresas construtoras que atuam em diferentes regiões do país, levantou uma série de dificuldades com relação à personalização. Classifica os tipos de modificações em dois formatos principais: a personalização pela simples troca de materiais e a personalização livre. Pelo alto custo para realizar grandes modificações solicitadas na personalização livre, este tipo de personalização só é viável para empreendimentos de alto padrão. No entanto, independentemente do segmento observado, Pagliaroni (2013) verificou nas empresas estudadas problemas de comunicação entre as partes envolvidas nos processos de personalização, ocorrendo falhas no controle dos processos completos. Verificou também como problema, a falta de compatibilização dos projetos de personalização. Os departamentos de obra criticam que cada projeto de personalização adota um padrão de apresentação diferente, dificultando o entendimento em obra.

Um dos grandes problemas gerados pela adoção da personalização relaciona-se às alterações de projetos solicitadas pelos clientes em fases mais adiantadas das obras, ocasionando impactos diretos nos custos e prazos, com alto grau de desperdícios de materiais e retrabalhos relacionados à mão de obra. Esta dificuldade é explicada por Pagliaroni (2013), que destaca o atraso dos clientes com o retorno das informações necessárias para a continuação dos processos de personalização. Atrasam-se, assim, os aceites, projetos, aprovações e orçamentos.

Outra falha destacada por Pagliaroni está no alinhamento do fluxo de informações entre obra, departamento de suprimentos e fornecedores. Não havendo programação de datas para recebimento dos materiais referentes à personalização, as obras não se preparam para este recebimento, causando falhas na cadeia de suprimentos, tais como a geração de estoques inadequados, falta de locais de armazenamento, perdas de material e retrabalhos. Estas e outras dificuldades fizeram, segundo Pagliaroni (2013), que algumas empresas abandonassem a personalização livre, e adotassem personalização em massa (equivalente à flexibilidade planejada) ou até entregando a unidade habitacional sem acabamento algum.

A interação dos envolvidos no processo de personalização é, portanto, muito importante para a qualidade final do produto, mas muitas vezes

isso não acontece ou acontece de modo falho. A deficiência no fluxo de informações entre os participantes constitui falha que acaba gerando as demais falhas de planejamento da construção.

CUSTOMIZAÇÃO: CONCEITO E TIPOS

Como já comentado, as mudanças no perfil dos compradores tornaram as habitações tradicionais padronizadas inadequadas e demandam a adoção de estratégias de customização capazes de responder aos requisitos específicos dos moradores. Assim a customização, que é a capacidade de oferecer bens e produtos através do atendimento dos requisitos dos clientes, quando bem utilizada pode aumentar potencialmente o valor do produto habitacional (ROCHA, 2011).

Um conceito que surgiu para contrapor-se à produção em massa é o da personalização em massa (ou customização em massa). A customização em massa é uma estratégia que focaliza o fornecimento de produtos ou serviços personalizados através de processos flexíveis em grandes volumes, a preços e prazos semelhantes a produtos padronizados (DURAY et al., 2000; SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001; ROCHA; FORMOSO; SANTOS, 2012). É vista como uma ideia sistêmica, envolvendo todos os aspectos de venda do produto, desenvolvimento, fabricação e entrega. Um círculo completo a partir da opção do cliente.

Lampel e Mintzberg (1996) apresentam cinco tipos de situação para a customização: (a) *padronização pura*, não havendo distinção entre os clientes; (b) *padronização segmentada*, quando um projeto básico é modificado para uma oferta mais variada, no entanto, sem permitir decisões sobre o projeto e a produção; (c) *padronização customizada*, estratégia em que os produtos são customizados a partir de componentes padronizados, sendo que o projeto básico não é personalizado e os componentes são produzidos em massa; (d) *customização sob medida*, onde se desenvolve um projeto padrão para um potencial comprador e, em seguida, adapta-o aos desejos e necessidades do indivíduo (equivalente à flexibilidade permitida); (e) *customização pura*, em que todas as etapas – projeto, fabricação, montagem e distribuição – são em grande parte personalizados (compradores e vendedores se transformam em parceiros nas decisões sobre o produto).

No Brasil, as táticas para customização em massa na produção habitacional foram estudadas por Tillmann e Formoso (2008). As estratégias de customização no setor de construção civil também aparecem no trabalho de Rocha (2011) e de Rocha, Formoso e Santos (2012). Os estudos a respeito têm avançado na direção da personalização em massa, ou seja, dentro de um conceito de planejamento da flexibilidade, ao invés da proposta de uma personalização ampla e livre. Conceitos como os de *arquitetura do produto* (organização das funções em componentes físicos), *arquitetura modular* (soluções pré-definidas baseadas no desenvolvimento de módulos) e *plataforma* (configuração a partir da qual se pode gerar mais facilmente a variedade desejada de produtos).

Quando se adota o conceito plataforma, na planta baixa da unidade residencial estão demarcados os setores que contém os módulos que podem ser modificados e os setores que não podem ser alterados. Pagliaroni (2013) apresenta o caso de uma empresa que atua na cidade de Fortaleza, cujo sistema de construção se baseia neste conceito. Todo o piso é executado antes das paredes divisórias. Estas, por sua vez, são em blocos de gesso fixados com um cola especial para não marcar o piso, no caso de mudanças na planta. Setores que são fixos, tais como as áreas molhadas, recebem a fixação de “saiotes” (placas pré-moldadas de cerca de 20 cm de altura) antes da execução

das divisórias. Neste caso as modificações podem ser feitas pelo proprietário ao longo do uso da habitação (flexibilidade contínua).

O sistema plataforma aplicada ao pavimento-tipo é similar à personalização de fachadas apresentada por Friedman (2002) em projetos residenciais no Canadá. Trata-se de um método de adaptabilidade configurado por dois elementos principais: *zonas abertas* (de livre escolha) e *componentes de preenchimento* (recheio). Nas áreas abertas da fachada podem ser colocados elementos de recheio, ou seja, portas, janelas e outros elementos de vedação personalizados. O resto é construído similar ao resto das fachadas. Estas zonas abertas estão estruturalmente preparadas para receber modificações (inclusões e/ou trocas) nas esquadrias. É oferecido um catálogo de opções possibilitando ao comprador escolher e personalizar sua fachada com coerência e harmonia.

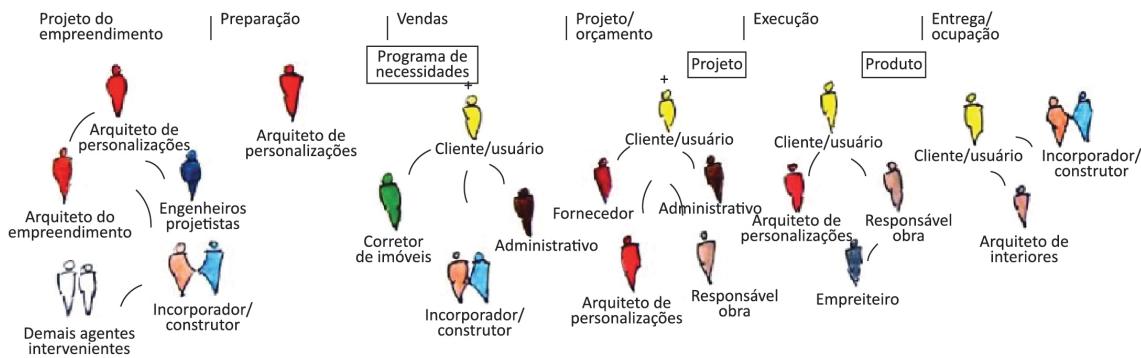
Mostra-se com os exemplos anteriores que a opção pela personalização em massa onde se oferece um rol de alternativas pré-definidas (equivalente à flexibilidade planejada) se opõe à personalização livre (flexibilidade permitida), onde se procura adaptar o projeto original único ao gosto do cliente. Este segundo formato pode até ser prático em termos de projeto inicial, uma vez que não são realizados estudos para criação de menus de escolha, no entanto, trazem dificuldades e problemas dada a incerteza quanto aos pedidos que serão feitos pelos clientes no ato da compra do imóvel ou durante a execução da obra, conforme exposto na seção 2.3 anterior.

GERENCIAMENTO DO PROCESSO DE PERSONALIZAÇÃO

Um exemplo de procedimento seguido por uma empresa construtora é apresentado por Oliveira e Moschen (2001), na cidade de Florianópolis, durante o processo de personalização dos apartamentos: o cliente pode escolher os materiais de acabamento de sua preferência e pode fazer algumas alterações na planta. Para isso conta com o auxílio de um arquiteto contratado pela empresa. Porém, o cliente tem datas pré-estabelecidas para definir alguns itens, sem modificações após a tomada de decisões, a menos que haja viabilidade técnica e de custos. Destaca-se nesta proposta a figura do arquiteto de personalizações que atua em diferentes fases empreendimento, conforme Figura 2.

Pagliaroni (2013) ressalta ser de grande importância a criação de um departamento específico para a personalização que fique responsável por centralizar, organizar e transmitir as informações necessárias para cada parte envolvida nos processos de personalização. Das quatro empresas que Pagliaroni estudou, duas possuem este departamento específico, justamente as que tiveram obras com os maiores índices de personalização, de 60 a 70% das unidades dos empreendimentos, contra 30 a 40% das obras das empresas que não possuem o departamento de personalização.

Figura 2. Diretrizes e agentes intervenientes alocados no processo de personalização.
Fonte: Moschen (2003).



Este mesmo autor explica que os materiais, a mão de obra e os equipamentos necessários à execução de personalizações são mais específicos quando comparados às obras sem personalizações. Para gerenciar uma maior variedade de insumos é importante realizar planejamentos de médio prazo com cronogramas de restrições e cronogramas de suprimentos, onde os departamentos de planejamento, suprimentos e obra trabalhariam juntos para identificar as tarefas das próximas semanas e deixá-las prontas para execução. Nestes planejamentos devem ser incluídas as particularidades dos prazos de entrega dos materiais de personalização, facilitando a visualização de restrições passíveis de atrasar a obra se não percebidas com antecedência.

Pagliaroni (2013) ao comparar as quatro empresas estudadas, elaborou o fluxograma do processo de personalização de cada uma, mostrando que cada empresa apresenta uma forma distinta de trabalhar. Mesmo as empresas que contavam com departamento exclusivo para gerir o processo de personalização apresentaram procedimentos e fluxo muito diferentes. Pagliaroni conclui a análise apresentando um fluxograma modelo, incluindo o departamento de personalização atuando juntamente com os demais participantes: cliente; departamento comercial; departamento de obras; departamento de suprimentos; fornecedores. Na proposta de Pagliaroni (2013), é defendido também que os clientes não devem realizar a compra dos materiais, pois se verificou que isso se tornava um gargalo no processo e não contribuía para aumentar o valor do produto.

Ainda com relação ao estudo anterior, na tentativa de propor o fluxograma modelo foram percebidas que as diferentes particularidades de cada empresa, como cultura, estrutura organizacional, exigência de mercado, padrão das obras e classe social do público alvo podem interferir no mesmo. Isso demonstra o quanto é importante que cada empresa defina seus próprios processos para atingir as estratégias básicas da personalização, ou seja, aumentar o valor de seus produtos e atender as necessidades dos clientes.

ESTUDO DE CASO

DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DAS OBRAS ESTUDADAS

Esta pesquisa se deu em uma construtora de imóveis residenciais, que produz, principalmente, edifícios de apartamentos, atuando na cidade de Cuiabá há cerca de 30 anos. Com o crescimento da empresa, houve a necessidade de qualificação profissional, o que ocasionou no ano de 2005 a busca pela certificação pelo PBQP-H nível A. No período de realização desta pesquisa (2012 e 2013) a empresa possuía 45 edifícios construídos, somando 440.000 m² de área construída.

Esta construtora apresenta atuação expressiva, sendo considerada uma das maiores empresas de construção civil da região. Constrói, na maioria dos casos, apartamentos residenciais e possibilita a personalização de seus imóveis. As informações que foram coletadas referem-se às alterações efetivadas realizadas pela construtora nas unidades residenciais adquiridas pelos clientes, não sendo computadas as alterações executadas pelos proprietários após a entrega do imóvel.

Os empreendimentos escolhidos encontram-se localizados em uma região valorizada na cidade de Cuiabá, próximo ao Centro Político Administrativo (CPA), onde está sediado o Governo do Estado de Mato Grosso e a maioria das secretarias e órgãos públicos. Também estão próximos de um grande shopping da cidade. O empreendimento completo é composto por oito edifícios residenciais, com 25 pavimentos tipo cada, que juntos totalizam 800 unidades

habitacionais e foram identificados neste trabalho como empreendimentos 1, 2 e 3, conforme a Figura 3.

O empreendimento 1, com 300 unidades, foi o primeiro a ser executado. Quando iniciada a pesquisa, o mesmo já havia sido entregue aos clientes.



Figura 3. Os empreendimentos 1, 2, 3 estudados. Fonte: Falconi (2013).

É composto de três torres de apartamentos residenciais, distribuídos em quatro apartamentos por andar, cada um com 98,00 m² de área privativa, três quartos, sendo que um deles é suíte, banheiro social, lavabo, sala para dois ambientes, varanda com churrasqueira, cozinha, área de serviço e banheiro de serviço.

O empreendimento 2 é composto de três torres de apartamentos residenciais, distribuídos em quatro apartamentos por andar (total de 300 unidades), com 101,06 m² de área privativa, com três quartos, sendo duas suítes, banheiro social, lavabo, sala para dois ambientes, varanda com churrasqueira, cozinha, área de serviço e banheiro de serviço.

E, por fim, o empreendimento 3, que é composto de duas torres de apartamentos residenciais, distribuídos em quatro apartamentos por andar (total de 200 unidades), com duas plantas-tipo, sendo a planta tipo 1 com 140,67 m² de área privativa, com três suítes, lavabo, sala para três ambientes, varanda com churrasqueira, cozinha, área de serviço e banheiro de serviço. Já a planta tipo 2 com 134,30m² de área privativa, com três suítes, lavabo, sala para três ambientes, varanda com churrasqueira, cozinha, área de serviço e banheiro de serviço.

COLETA DE DADOS

Para entendimento do processo atual de personalização da empresa 13 aspectos importantes foram estudados. Estes aspectos foram listados tendo como base os trabalhos de Brandão (1997), Moschen (2003) e Pagliaroni (2013):

- Política e organização da empresa para atendimento ao cliente;
- Apresentação e compatibilização de projetos;
- Personalização oferecida nos projetos (espaços e instalações);
- Personalização oferecida nos projetos (revestimentos e acabamentos);

- Comunicação escrita e responsabilidades sobre as modificações de projeto;
- Processo (verificação do fluxo e procedimentos sistematizados);
- Comercialização das modificações (alvenaria e instalações);
- Comercialização das modificações (revestimentos e acabamentos);
- Administração e controle no canteiro de obras;
- Opiniões e procedimentos sobre visitas dos clientes no canteiro de obras;
- Atualização e documentação das modificações de projeto;
- Retrabalhos e modificações solicitadas fora do prazo;
- Utilização das modificações como *feedback* e melhoria do processo.

Para orientar as entrevistas não estruturadas foram definidas inicialmente algumas questões básicas, conforme mostrado no Quadro 1. As entrevistas foram feitas com a direção (com um dos diretores, engenheiro

Quadro 1. Questões que orientaram a entrevista com os setores envolvidos.

Direção	Engenharia (Obra)	Projetos	Comercial
O que agrupa valor aos imóveis oferecidos pela empresa?	De que forma se inicia o processo de personalização dos imóveis na empresa?	Como se dá o processo de projetos arquitetônicos e complementares dos empreendimentos?	O material de divulgação dos empreendimentos apresenta alternativas de personalização?
Como é o relacionamento cliente e empresa?	Existe um controle das alterações de projeto?	Atualmente como são desenvolvidos os projetos dos empreendimentos?	Em que momento a personalização de imóveis é oferecida ao cliente?
Como a empresa entende o processo de personalização de imóveis?	Como é feito o controle das unidades alteradas?	Existe a busca por novas tecnologias construtivas que facilitem o processo de personalização dos imóveis?	Existe a troca de informações da obra com o comercial de modo a esclarecer o momento em que a obra se encontra e quais as alterações ainda podem ser efetuadas?
Há por parte da empresa a definição dos imóveis que podem ser alterados? De que forma isto é feito?	Existe algum procedimento formalizado segundo padrões do PBQP-H para o processo de personalização de obras?	Qual a relação dos projetistas com a personalização dos imóveis?	
Existe uma equipe de atendimento ao cliente definida para as alterações dos imóveis?	Há treinamento com o pessoal envolvido?	Existe algum procedimento formalizado segundo padrões do PBQP-H para o processo de personalização de projetos?	

Fonte: Falconi (2013).

civil e responsável técnico pelos empreendimentos), com o setor de engenharia - obra (o engenheiro civil residente e o assistente de engenharia que à época era estudante de engenharia civil), setor de projetos (um arquiteto, um engenheiro civil e dois estagiários, estudantes de engenharia civil e de arquitetura) e setor comercial (com o gerente comercial). Com exceção da obra, os demais setores foram entrevistados uma única vez. Na obra foram feitas 15 visitas, possibilitando conversar também com 25 clientes que foram encontrados na obra ao longo destas visitas. Em todas as visitas houve o acompanhamento do assistente de engenharia que explicava a situação de cada apartamento alterado ou que estava sofrendo as alterações.

O engenheiro responsável pelas obras, além de conceder a entrevista e permitir as visitas nos canteiros, disponibilizou os seguintes documentos: projetos executivos originais, fichas de alteração, projetos alterados, termos aditivos e, em alguns casos, fotos de modificações realizadas (geralmente da mudança nas tubulações elétricas e hidrossanitárias). Todos os documentos relativos às modificações encontravam-se armazenados na própria obra em arquivo específico.

Foram levantados e analisados os aspectos sobre a personalização de projetos: características do empreendimento; forma de flexibilidade oferecida pela construtora; modo como aconteceu o processo de personalização; identificação das mudanças realizadas nos apartamentos. O setor de engenharia (obra) é que forneceu a grande maioria das informações, disponibilizando os documentos e projetos, pois é o setor que cuida das solicitações de modificação. Não há um setor específico para este serviço, nem tampouco o setor de projetos se envolve com a questão da personalização. Ao engenheiro da obra foi dada esta atribuição, ou seja, na prática, a personalização ficou delegada exclusivamente ao setor de engenharia (obra).

PRINCIPAIS MODIFICAÇÕES SOLICITADAS PELOS CLIENTES

Nos três empreendimentos estudados constatou-se que foi no empreendimento 1 onde ocorreram mais modificações (84 unidades, 28% do total), sendo que as mais solicitadas foram: (a) alteração da posição da porta do banheiro social para conversão em suíte (Figura 4); (b) eliminação do banheiro de serviço para transformação em despensa; e (c) eliminação do banheiro de serviço com a divisão de parte da área para a criação de um lavabo e a outra parte para despensa (ver Tabela 1). Nos empreendimentos 2 e 3 o número de apartamentos modificados foi 48 (16%) e 19 (9,5%), respectivamente.

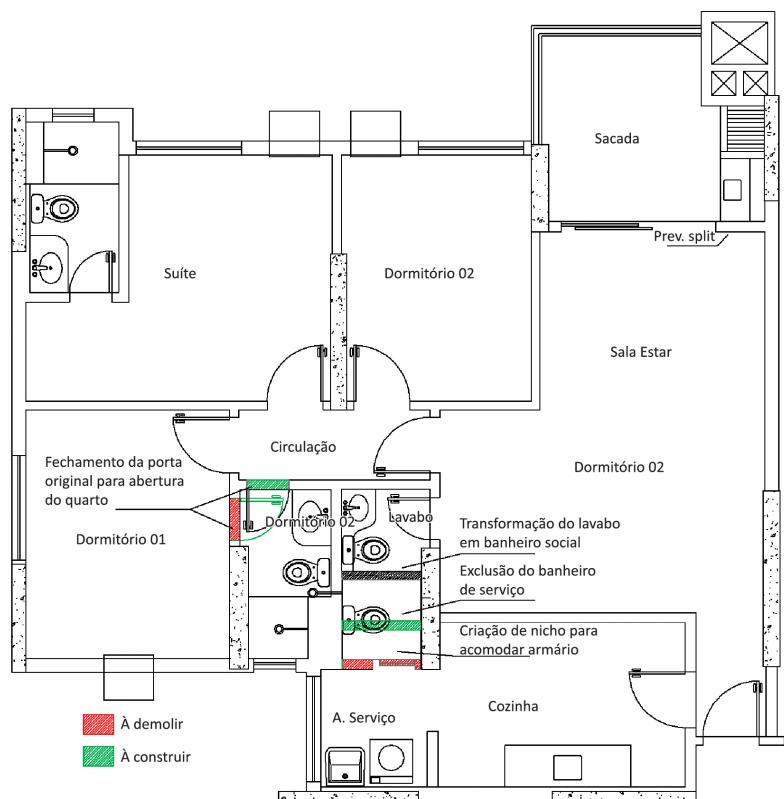


Figura 4. Planta baixa com as principais alterações no empreendimento 1. Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 1. Alterações realizadas no empreendimento 1 (84 apartamentos modificados, 28% do total).

Alteração	Quantidade	%
Alterar posição da porta do WC social transformando em 2 suítes	47	16,43
Eliminar WC de serviço integrando ao lavabo, deixando um espaço voltado para a área de serviço para um armário de embutir	25	8,74
Eliminar WC de serviço transformando em despensa	15	5,24
Alterar posição da porta do lavabo para a circulação íntima	13	4,55
Eliminar WC de serviço, integrando ao lavabo e transformando em WC social	13	4,55
Piso porcelanato	10	3,50
Pontos elétricos – alteração ou inclusão	10	3,50
Eliminar WC de serviço e lavabo integrando e transformando em despensa	8	2,80
Alteração de portas internas	7	2,45
Alteração / substituição de granitos	5	1,75
Eliminar parede de um quarto ampliando a sala	5	1,75
Abertura na parede da cozinha para a sala (balcão passa-pratos)	4	1,40
Eliminar parede da cozinha integrando a sala (tipo “americana”)	3	1,05
Eliminar WC de serviço e lavabo integrando e transformando em escritório	3	1,05
Instalação de gancho para rede	3	1,05
Eliminar churrasqueira	2	0,70
Eliminar lavabo transformando em despensa	2	0,70
Incluir uma porta no WC social com abertura para o quarto	2	0,70
Piso em diagonal	2	0,70
Preencher paredes eliminando “dentes” dos pilares	2	0,70
Revestimentos cerâmicos (pastilhas)	2	0,70
Total de modificações	286	100,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o empreendimento 2 foi inserida mais uma suíte no projeto, assim todos os quartos são suítes já no projeto original (modificação de projeto, não sendo incluída como personalização). Isto feito com base na retroalimentação de informações do empreendimento 1, uma vez que esta havia sido a principal solicitação de alteração naquela obra. As alterações mais solicitadas no empreendimento 2 foram: (a) troca do piso cerâmico oferecido pela empresa pelo piso porcelanato e (b) transformação do banheiro de serviço em despensa (ver Tabela 2).

As solicitações de alterações/substituições de granitos constam como uma das mais solicitadas nos empreendimentos 2 e 3 (Tabelas 2 e 3). Parte destas alterações aconteceu nas bancadas das pias dos banheiros e tiveram finalidade estética. Outras aconteceram nas bancadas das pias das cozinhas e se deram pela adequação aos novos modelos de fogão estilo *cooktop*, que são instalados na própria bancada. Isso ocasionou mudanças nos pontos hidráulicos e de gás.

A substituição de revestimentos cerâmicos, mudança de finalidade estética, reforça a ideia da necessidade das pessoas em transformar seu imóvel em um ambiente mais próximo da sua identidade. Os pisos do tipo porcelanato tem sido uma das tendências atuais.

As alterações em pontos elétricos se repetiram em todos os empreendimentos. Este fato se deu pela mudança dos modelos de TV que

Tabela 2. Alterações realizadas no empreendimento 2 (48 apartamentos modificados, 16% do total).

Alteração	Quantidade	%
Piso porcelanato	23	16,91
Transformar WC de serviço em despensa	23	16,91
Pontos elétricos	15	11,03
Alteração de pedras	12	8,82
Gancho de rede	8	5,88
Mudança do ponto de gás	7	5,15
Eliminar parede do quarto integrando a sala	4	2,94
Alteração de revestimento (pastilhas)	4	2,94
Pontos hidráulicos	3	2,21
Remover parede do WC de serviço integrando a área de serviço	3	2,21
Remover parede da cozinha integrando a sala	3	2,21
Abertura na parede da cozinha para a sala (balcão passa-pratos)	2	1,47
Integrar suítes transformando em suíte máster	1	0,74
Total de modificações	136	100,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 3. Alterações realizadas no empreendimento 3 (19 apartamentos modificados, 9,5% do total).

Alteração	Quantidade	%
Pontos elétricos - alteração ou inclusão	15	16,67
Alteração / substituição de granitos	12	13,33
Instalação de gancho para rede	8	8,89
Mudança do ponto de gás	7	7,78
Eliminar parede de um quarto ampliando a sala	4	4,44
Revestimentos cerâmicos (pastilhas)	4	4,44
Eliminar parede da cozinha integrando a sala (tipo "americana")	3	3,33
Eliminar WC de serviço integrando a área de serviço	3	3,33
Alteração de pontos hidráulicos	3	3,33
Abertura na parede da cozinha para a sala (balcão passa-pratos)	2	2,22
Integrar suítes transformando em suíte máster	1	1,11
Total de modificações	90	100,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

atualmente são de tela plana e são posicionados geralmente na parede em altura superior a dos modelos convencionais. A inclusão de novos pontos acontece também pela popularização dos aparelhos como notebooks e televisores, cada vez mais presentes. Geralmente, cada morador possui o seu aparelho. Assim, a tecnologia da informação e os novos tipos de eletrodomésticos têm trazido mudanças no posicionamento dos pontos, além das próprias mudanças tecnológicas dos elementos e dispositivos instalados.

ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS E DIFICULDADES ENCONTRADOS NO PROCESSO

Estes empreendimentos 1, 2 e 3 foram os primeiros da empresa em que houve uma tentativa de controle do processo de personalização através da adoção de registros. Por se tratar de um serviço novo para a empresa, o processo ainda vem se adequando aos interesses e características da mesma.

O material de divulgação comercial do empreendimento não faz referência à oferta de personalização do imóvel. A personalização é oferecida ainda durante a compra do apartamento, na primeira manifestação das necessidades comprador e consiste na solicitação de alteração e na análise das condições técnicas para atendê-lo. A solicitação de alterações dos apartamentos também pode ocorrer durante a fase de execução da obra e, em alguns casos, muito depois do fechamento da negociação comercial, uma ou outra alteração ainda é solicitada. O início do processo de personalização de cada apartamento ocorre, normalmente, quando da visita do cliente à obra ou ao apartamento decorado que fica no próprio local da obra. É neste momento que o cliente percebe as necessidades de adequação.

A empresa possui um departamento de arquitetura (projetos), entretanto o mesmo não atua no oferecimento do serviço de personalização de projetos. Este setor envolve-se somente com a elaboração dos projetos legais e executivos na sede da empresa. Não existe interação deste departamento com o cliente no caso da solicitação de adequações do apartamento adquirido. Os projetos disponibilizados pelo departamento de arquitetura para a obra são apenas os projetos executivos originais.

Verificou-se que a empresa desenvolve todo o processo de personalização de maneira simplificada, com a participação apenas do setor de engenharia (obra), sendo o acordo sobre os serviços feito entre o engenheiro residente e o futuro comprador. Os únicos registros formais de acompanhamento do processo de personalização são fichas que contém as informações sobre as solicitações de alterações de cada apartamento.

Caso o cliente opte pelo desenvolvimento do projeto arquitetônico personalizado, com arquiteto particular contratado para este fim, o setor de engenharia (obra) fica responsável pelo recebimento das plantas e avaliação das possibilidades para a execução dos serviços, tais como as alterações de paredes ou paginação de azulejos.

A empresa não controla as alterações de projeto, fato este que resulta em projetos não vigentes. Ao circular pela obra, percebe-se que estas mudanças acabam levando a erros de execução e posteriores retrabalhos.

Também não há o fornecimento de projeto *as built* ao proprietário. Este recebe apenas uma via da planta alterada, porém esta planta não possui informações sobre passagens de tubulações, por exemplo. Na entrega dos apartamentos o cliente recebe um manual do proprietário que é o padrão do empreendimento. Estas informações foram dadas pelo departamento de projetos, reforçando que este setor não participa de qualquer alteração pertinente à personalização dos projetos das unidades habitacionais.

Um fato gerador de problemas no processo de personalização é a solicitação tardia de alterações por parte dos clientes, não havendo tempo hábil para que estas sejam executadas. Os pedidos de alterações muitas vezes são feitos após o término de alguns serviços, como a execução de alvenarias, reboco, revestimentos de pisos e paredes, dentre outros. Outras vezes a solicitação de alteração acontece no momento em que o comprador vê sua obra concretizada, só então consegue realmente visualizar o que não lhe agrada e o que gostaria que fosse alterado. Para a construtora não perder o cliente, acaba realizando as alterações solicitadas. As consequências disso foram: retrabalhos, geração de resíduos e atrasos no cronograma de obras e de compras de materiais.

As alterações permitidas na empresa foram praticamente com relação ao layout, envolvendo alterações de paredes (remoção total ou parcial, adição, criação de aberturas ou fechamento destas), portas, revestimentos, bancadas de pias, pontos de energia e TV.

A construtora não oferece opções diferenciadas de acabamento. Costuma oferecer ao cliente somente uma opção de piso e de revestimentos de parede. Somente nos empreendimentos 1 e 2 foi oferecido o piso porcelanato, além do piso original que era em cerâmica comum. Todo o processo de personalização é realizado no canteiro de obras, excluindo-se apenas a alteração do piso que precisa ser levantado no estoque da empresa.

As alterações não costumam ser cobradas. A cobrança somente acontece quando envolve alteração de piso. Neste caso, a tratativa de pagamento se dá através de um termo aditivo que estabelece a mudança do piso original e o valor a ser pago, ou seja, a diferença entre os materiais de acabamento e a mão de obra. O documento é assinado pelo cliente e pelo engenheiro da obra e anexado ao contrato.

Com relação ao desenvolvimento das obras personalizadas foram verificados alguns elementos construtivos que facilitaram a execução das alterações, como, por exemplo, a laje nervurada que facilitou a passagem das tubulações de água fria, fiações elétricas, de TV e telefone, por caminhos diferentes dos concebidos em projeto. Isto porque as mesmas não foram embutidas, mas somente fixadas na laje superior, ficando encobertas pelo forro de gesso rebaixado.

Outro fator que resultou em problemas na obra foi a falta de planejamento com relação às visitas dos clientes. A direção da empresa vê positivamente estas visitas no canteiro de obras, porém não são feitos agendamentos e nas obras estudadas foram reservados apenas os sábados para as visitas. Os clientes que procuravam a obra durante a semana passaram a receber a informação de que as visitas só seriam permitidas no fim de semana. No entanto, devido à deficiência na organização, houve sábados com mais de quinze visitas agendadas, enquanto que em outros, nenhuma foi registrada.

A entrada de profissionais, como executores de móveis planejados ou marceneiros, sem acompanhamento e controle, também gerou transtornos. Por vezes a abertura do imóvel para estes profissionais externos na fase de acabamento acabou danificando a pintura quando efetuaram as suas medições, ocasionando retrabalho nestas unidades.

A direção, o departamento de projetos e a engenharia sabem que é importante aprender com os erros ocorridos em obras anteriores, porém não existe na empresa um processo formalizado de retroalimentação das informações quanto ao processo de personalização.

A empresa já possuiu um Sistema de Gestão da Qualidade implantado no ano de 2010, através do PBQP-H, mas, como se observou, nenhuma aplicação foi feita para a questão da personalização. A construtora poderia utilizar desta experiência para organizar o processo atual, com a elaboração de padrões, migrando e adaptando documentos e inspeções de serviço.

Durante as entrevistas com os engenheiros e com o gerente comercial, foi percebido que o maior conflito está entre estes dois departamentos. Para o departamento comercial o importante é a venda e para que isso aconteça não são medidos esforços para agradar o cliente, acatando os pedidos de modificações feitos no momento da compra, mesmo que isto ocorra em fases da obra já concluídas. Independente dos problemas técnicos e dos retrabalhos, tanto o setor comercial como o de engenharia (obra) informaram, pelas entrevistas, que não há prazos para o cliente que se interessa em alterar seu apartamento. Nem tampouco, afirmam, existem definições ou restrições prévias sobre o que se pode e o que não se pode alterar.

RECONSTITUIÇÃO DO FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PERSONALIZAÇÃO ENCONTRADO

Durante a entrevista não estruturada foram percebidas duas fases bem distintas no decorrer do processo atual de personalização. A primeira, desenvolvida pelos departamentos de arquitetura (projetos), comercial e de planejamento. E a segunda fase que se refere ao desenvolvimento do processo atual de personalização através da inter-relação dos envolvidos: direção, departamento comercial e departamento de engenharia (obra).

Para a apresentação de todo o processo de personalização da empresa foi elaborado o fluxograma atual das informações e documentos do processo de projeto e lançamento do empreendimento (Figura 5). Para isso, foram adotados os padrões utilizados em representações de fluxos segundo Grefe, Freitas e Romanel (2012), com as seguintes convenções:

-  Início e fim;
 -  Atividades operacionais no desenvolvimento do processo;
 -  Decisão - ação que deverá ser tomada através da decisão de se fazer algo;
 -  Documento gerado - plantas, fichas, planilhas, contratos;
 -  Vários documentos gerados;
 -  Sentido do fluxo.

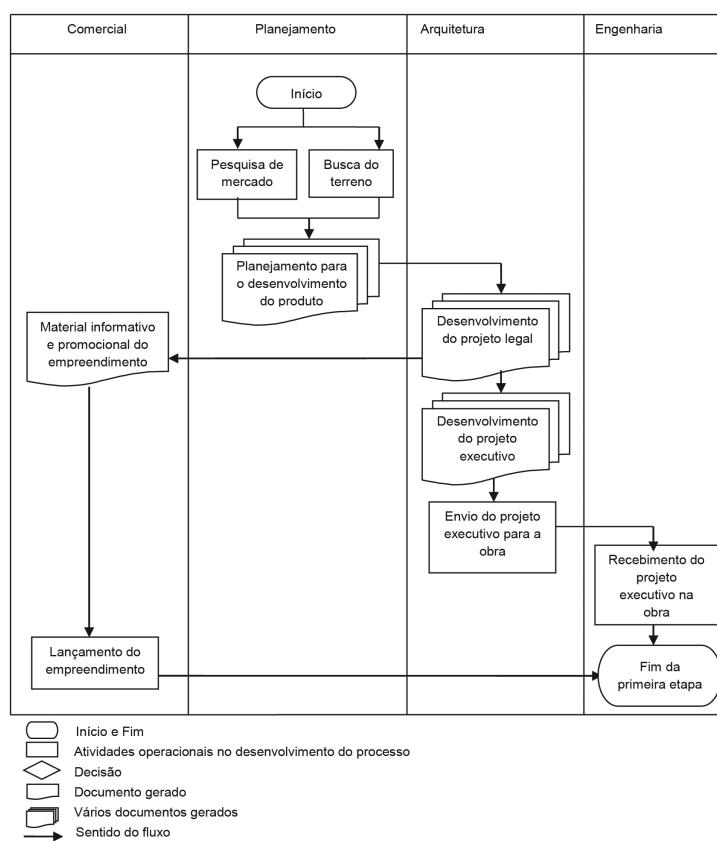
A empresa até o presente momento da pesquisa não possuía um departamento de planejamento. O planejamento era elaborado com o envolvimento da direção juntamente com os departamentos de arquitetura e de engenharia. As quatro áreas participantes do processo atual de personalização são: a direção, o departamento comercial, a arquitetura (projetos) e a engenharia (obra).

Direção. A Direção da empresa atua diretamente no desenvolvimento dos seus empreendimentos e promove as reuniões com os demais departamentos envolvidos para que cada qual, dentro das suas especificidades e responsabilidades, desenvolva o respectivo planejamento do produto. A Direção dá completa autonomia para que cada engenheiro responsável pela sua obra ofereça ou não a personalização aos clientes.

Departamento Comercial. O material de divulgação comercial do empreendimento contempla informações como: localização, planta do apartamento e metragem de cada unidade habitacional. De posse destas informações o Departamento Comercial inicia o desenvolvimento do trabalho de divulgação, a prospecção dos clientes e a venda do empreendimento.

Arquitetura (Projetos). O Departamento de Arquitetura (Projetos) da empresa atua no desenvolvimento de todos os projetos arquitetônicos executivos e legais para aprovação nos respectivos órgãos, bem como coordena o desenvolvimento dos projetos

Figura 5. Fluxograma do processo de projeto e lançamento do empreendimento (em vigor). Fonte: Falconi (2013).



complementares. As versões dos projetos executivos na obra são substituídas quando revisadas, porém as revisões de projeto não contemplam os serviços de personalização executados em cada apartamento.

Engenharia (Obra). É o único responsável pelo atendimento ao cliente no que diz respeito ao processo de personalização de projetos e obras. Consiste no atendimento ao cliente por meio de reuniões, visitas à obra, desenvolvimento da planta de alteração dos apartamentos, execução e fiscalização da obra.

Percebe-se, portanto, que estes diferentes setores atuam de forma paralela na empresa quando deveriam trabalhar de forma integrada. Observou-se que não há troca de informações entre os envolvidos no processo estudado e que o mesmo não é desenvolvido de maneira organizada e sequencial. Cada departamento desenvolve seu trabalho de maneira autônoma.

O processo atual de projeto da empresa é organizado em três etapas: planejamento, desenvolvimento de projetos e desenvolvimento do material comercial de divulgação.

A etapa de planejamento inclui: busca do terreno, pesquisa de mercado, reunião com os departamentos envolvidos. Antes do início da etapa de desenvolvimento dos projetos é realizado o planejamento e desenvolvimento do produto.

A etapa de desenvolvimento de projetos inclui o desenvolvimento do projeto legal, tendo como atividade paralela a elaboração do material informativo e promocional do empreendimento. Em seguida é feito o desenvolvimento do projeto executivo.

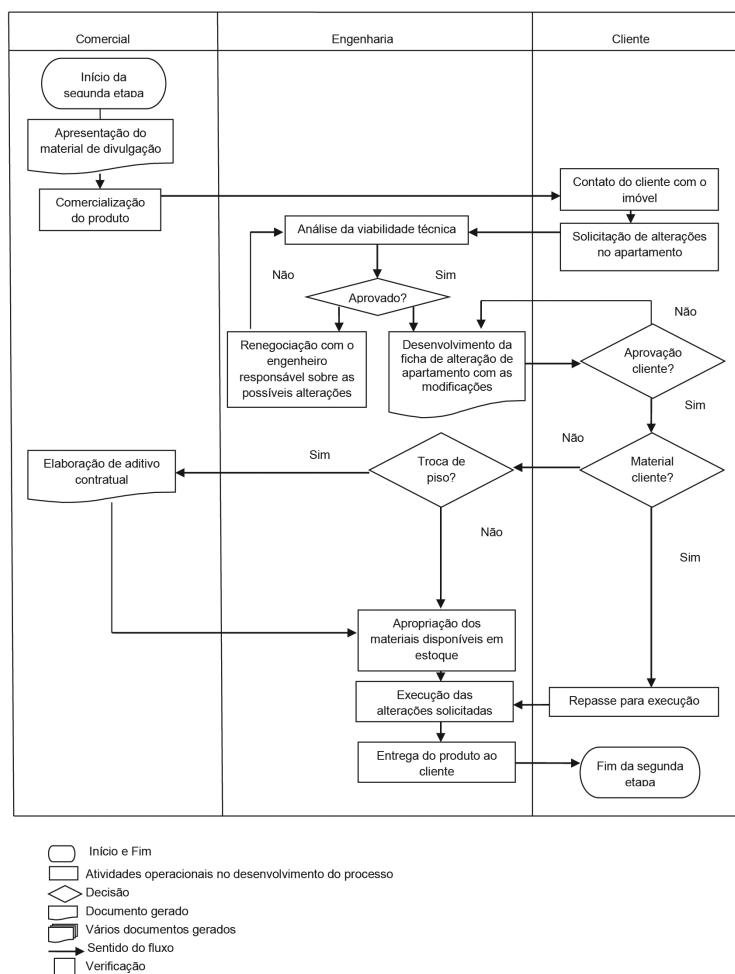
Por fim a última etapa deste processo é o desenvolvimento de material comercial, visando o lançamento do empreendimento. O fluxograma do processo completo de personalização em vigor na empresa é caracterizado pelo envolvimento do departamento comercial, engenharia (obra) e do cliente, conforme mostrado à Figura 6.

Esta segunda etapa do processo foi subdividida em: apresentação do material de divulgação; comercialização do produto; contato do cliente com o imóvel; solicitação de alterações no apartamento; análise da viabilidade técnica; elaboração da ficha de alterações; fornecimento dos materiais; e, por fim, a elaboração do aditivo contratual.

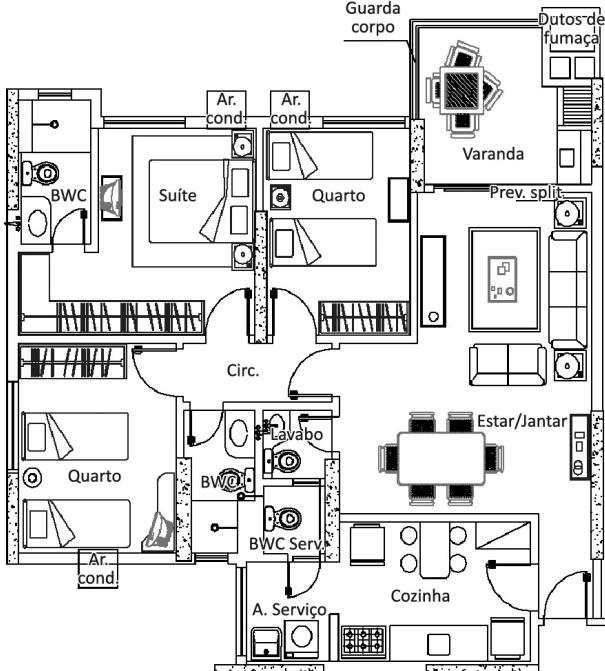
No inicio do trabalho de vendas do empreendimento pelo departamento comercial surgem as primeiras conversas sobre a personalização do apartamento entre o cliente e o departamento comercial. Mas as solicitações, como já dito, são feitas pelo cliente diretamente ao engenheiro responsável pela obra.

Figura 6. Fluxograma do processo de personalização de projetos e obras (em vigor).

Fonte: Falconi (2013).



Ao receber a solicitação de alterações do cliente, o engenheiro responsável faz a análise da viabilidade técnica para execução das possíveis alterações. Isto pode culminar em duas ações posteriores: se não aprovada, ocorre a renegociação com o engenheiro responsável e, se aprovada, continua o processo passando para a próxima fase que é o desenvolvimento da ficha de alterações do apartamento (Figura 7). Este documento é gerado pela equipe da engenharia na obra, contendo informações sobre o proprietário do apartamento, a planta com as alterações e a descrição das alterações. Esta

Torre _____ / Bloco " ___ " / Apto _____		CONSTRUTORA	
		Obra: _____	Versão: _____ Data: ____/____/____
		Resp. Liberação: _____	Assinatura: _____
EMPREENDIMENTO			
Alterações de apartamento			
Prop. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX			
Fone: XXXXXXXX	Alterações		
Torre: XXXXXXXXX			
Apto: XXXXXXXX			
Data: XXXXXXXX			
Vendedor: XXXXXXXX			
Escala: XXXXXXXX			
Assinatura Prop.			
Resp. Técnico _____			

ficha é submetida à aprovação do cliente, caso não aprovada volta à equipe da engenharia e sendo esta aprovada, o processo segue para o fornecimento de materiais.

Se os materiais forem fornecidos pelo cliente, segue-se diretamente para a execução. No caso de não serem fornecidos pelo cliente, então deve ser informado se haverá a troca de piso, caso em que será elaborado o aditivo contratual. E se não houver troca, a equipe da engenharia se apropria dos materiais disponíveis em estoque. O processo segue, então, com a execução das alterações solicitadas e finaliza com a entrega do produto ao cliente.

PROPOSIÇÃO DE UM NOVO FLUXOGRAMA PARA O PROCESSO DE PERSONALIZAÇÃO DA EMPRESA

Visando a melhoria do processo, foi desenvolvida uma proposta para o fluxograma do processo de projeto e lançamento do empreendimento (Figura 8) e fluxograma do processo de personalização (Figuras 9 e 10).

O novo fluxograma proposto para o processo de personalização abrange quatro áreas do ambiente de trabalho da empresa: Direção, Departamento

Figura 7. Ficha de alteração do apartamento. Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 8. Novo fluxograma proposto para o processo de projeto e lançamento do empreendimento. Fonte: Falconi (2013).

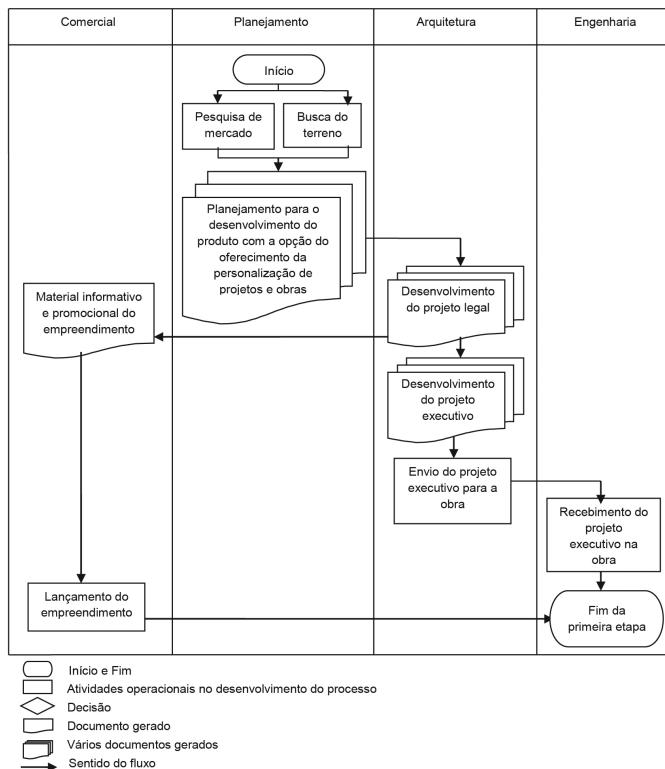
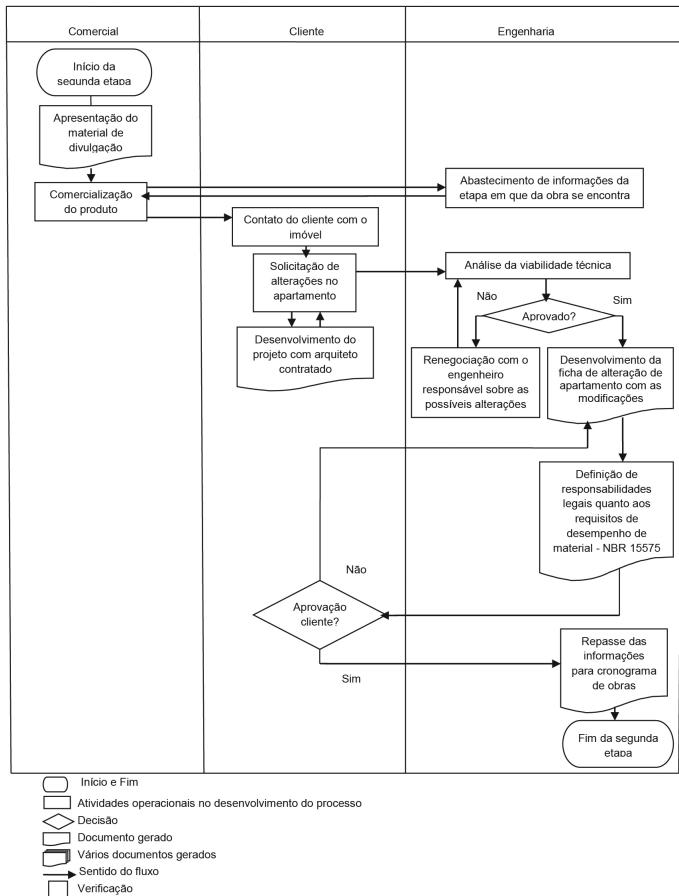


Figura 9. Novo fluxograma proposto para o processo de personalização de projetos e obras da empresa - segunda etapa. Fonte: Falconi (2013).



Comercial, Arquitetura (Projetos) e Engenharia (Obra), com responsabilidades e objetivos bem definidos.

Direção. O comprometimento da Direção é fundamental para o sucesso no processo de personalização. Seu apoio é caracterizado pela tomada de decisões e de investimentos em recursos humanos, máquinas e equipamentos, treinamentos. São ações que marcam de maneira positiva a imagem da empresa e tendem a influenciar no comportamento de toda cadeia produtiva e dos demais envolvidos. A Direção, comprometida com o processo, acaba por estimular a participação de seus colaboradores.

Departamento Comercial. O material de divulgação comercial do empreendimento deve conter a especificação do tipo de personalização oferecida pela empresa. Com o material de divulgação pronto, o Departamento Comercial inicia o trabalho de divulgação e venda do empreendimento. Durante as vendas este departamento deve ser sempre abastecido de informações da obra, sobretudo a etapa em que a obra se encontra, de modo a se evitar o comprometimento com os clientes quanto a alterações que não poderão ser atendidas posteriormente. É necessário, portanto, que o trabalho do Departamento Comercial seja feito em conjunto com a equipe da Engenharia.

Arquitetura (Projetos). O processo de projeto se inicia com a busca pelo terreno até o lançamento do empreendimento e esta sequência de trabalho tem funcionado bem para a empresa, devendo ser preservada (informação dada pelo arquiteto do setor de projetos e também pela engenharia). Este departamento deve acrescentar a oferta da personalização nas atividades de planejamento e desenvolvimento do produto.

A deficiência percebida no processo de personalização da empresa é justamente com relação à interligação do processo de projeto desenvolvido atualmente com o processo de personalização oferecido. Para tanto, a sugestão é a interligação do fluxograma proposto de informações e documentos do processo de projeto e lançamento do empreendimento (Figura 9) com o fluxograma proposto para o processo de personalização (Figura 10).

Para o desenvolvimento do processo é importante disponibilizar uma equipe de atendimento ao cliente no desenvolvimento dos projetos personalizados e no acompanhamento do serviço de execução da obra para cada apartamento que vier a sofrer alguma alteração. Essa equipe poderá ficar instalada na obra de forma a facilitar o desenvolvimento dos serviços de projeto, ou do preenchimento da ficha de alterações de apartamentos, bem como acompanhar a execução da obra e sua fiscalização. O projeto alterado/modificado ficará na obra até o término e posterior ao término será encaminhado ao escritório de projetos para arquivo específico.

Engenharia (Obra). Após a análise de viabilidade técnica do projeto pela Engenharia e antes da aprovação do projeto pelo cliente, a Engenharia deverá definir as responsabilidades legais quanto aos requisitos de desempenho de material segundo a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) que estabelece critérios

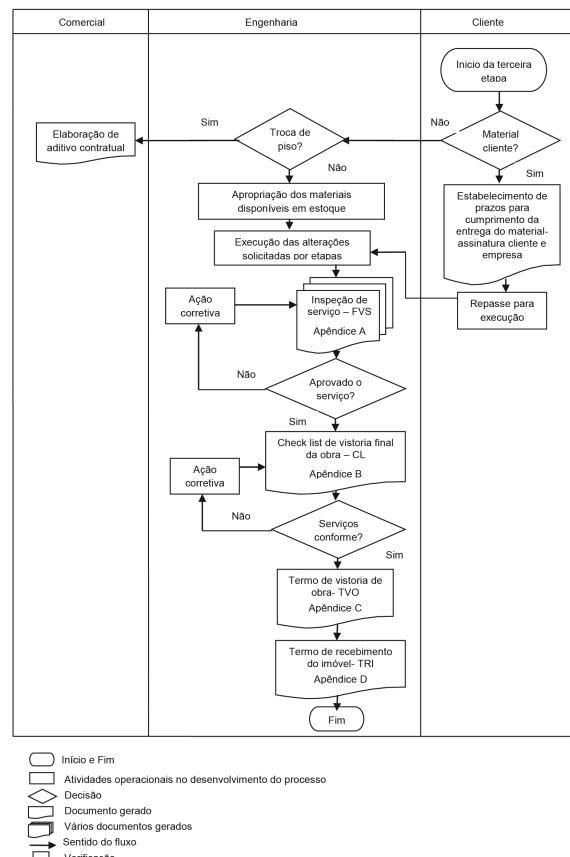


Figura 10. Novo fluxograma proposto para o processo de personalização de projetos e obras da empresa – terceira etapa. Fonte: Falconi (2013).

relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo. No caso da construtora estudada a norma de desempenho se aplica aos pisos, vedações verticais internas e sistemas hidrossanitários. A definição de responsabilidades ficará registrada em documento que deve ser aprovado pelo cliente.

Após a aprovação do projeto e do documento de responsabilidade legal, o engenheiro responsável pela execução da obra fará o repasse das informações ao mestre de obras e sua equipe. Os serviços deverão ser inspecionados separadamente ao final de cada etapa e antes do início de um novo serviço através do preenchimento de uma ficha de verificação de serviço (FVS).

Ao término da obra será feito um *check list* de vistoria final da obra (CL) onde consta a relação de todos os cômodos do imóvel, os itens observados e se os serviços estão aprovados ou reprovados. Na sequencia será preenchido o termo de vistoria da obra (TVO), onde serão levantadas as falhas detectadas, as providências a serem tomadas e os responsáveis pela eliminação das mesmas. Por fim, será preenchido o termo de recebimento de imóvel (TRI), que serve de documento para que a empresa se certifique que o proprietário recebeu seu imóvel. Os registros gerados devem ficar arquivados na obra até o término e depois em arquivo específico no escritório de projetos.

CONCLUSÕES

Através do levantamento de todo o processo foram detectadas as dificuldades que contribuíram para sua análise e para a configuração do novo processo proposto. As observações na obra, no escritório comercial e no setor de projetos, mostraram a tendência da independência nas atividades realizadas no dia a dia por parte de cada departamento. As áreas que deveriam trabalhar de forma integrada, atuando na troca de informações, atualmente trabalham separadamente, gerando as diversas dificuldades e problemas encontrados no desenvolvimento do processo atual.

Um dos principais problemas encontrados e que impacta diretamente no processo estudado foi com relação ao fluxo de informações entre cliente, departamento comercial e engenharia. São os pedidos de modificações feitos de forma tardia, após a conclusão de serviços já executado no apartamento, causando retrabalhos, gerando resíduos e atrasos no cronograma de obras e de compra materiais. A questão dos prazos é crucial, até mais do que os aspectos tecnológicos da construção. Este fato se dá principalmente pela falta de organização e controle da construtora que não define prazos para as alterações acontecerem. Também não há definição de quais alterações podem ou não ser executadas.

O planejamento e o controle acontecem de maneira insatisfatória. Até o presente momento da pesquisa o planejamento era desenvolvido por meio de reuniões com os departamentos envolvidos: Direção, Arquitetura e Engenharia, porém de maneira não estruturada, baseando-se em dados de obras anteriores.

Durante as observações feitas, percebeu-se que para a Direção da empresa o cliente tem sempre razão, o que se confirma diante das informações obtidas de que todas as solicitações de alterações nos apartamentos foram realizadas. Assim, por diversas vezes a empresa acabou por realizar a venda condicionada às modificações que o cliente solicitou, independente da etapa em que a obra se encontrava, perdendo-se desta forma o controle sobre o processo.

Verificou-se que nos empreendimentos estudados o engenheiro responsável teve autonomia na decisão de oferecer ao cliente o serviço

de personalização, mas isto não ocorre em todos os empreendimentos da empresa. A direção da empresa é quem dá autonomia ao engenheiro responsável pela obra e cabe ao mesmo decidir pelo oferecimento do serviço de personalização ou não. Tal procedimento contraria a ideia de integração dos setores.

Um grande problema encontrado no processo de personalização é a total ausência de interligação entre o departamento de Arquitetura (Projetos) e a Engenharia (Obra). Todo o processo atual se passa na obra e é desenvolvido pela equipe técnica da Engenharia. A Engenharia absorve várias atividades justamente pela falta de um planejamento no qual outras áreas deveriam estar envolvidas no processo.

A falta de visão sistêmica, assim como a postura da Direção e do Departamento Comercial diante dos clientes colaboram para que os departamentos de Arquitetura e de Engenharia trabalhem cada qual em seu ritmo, demasiadamente acelerados ao agir no cumprimento dos seus serviços. Desta forma o processo se torna fragmentado e cada departamento atua de forma que os serviços sejam mais rápidos e práticos.

Quanto às modificações observadas, foi constatado, através das informações disponibilizadas pela empresa e pela relação dos tipos de modificações, que as famílias hoje buscam maior privacidade e comodidade e a inserção das suítes nos projetos dos apartamentos são a evidência deste fato. Outra constatação evidenciada é a necessidade de se ter uma área, mesmo pequena para a guarda de mantimentos como utensílios de cozinha e limpeza. Trata-se de uma retroalimentação que deve ser levada em consideração quando da concepção dos novos projetos de apartamentos da empresa. Daí a necessidade de registro completo das modificações solicitadas e maior comunicação com o cliente.

Sempre é necessário um estudo sobre o perfil do público que a empresa pretende atingir no oferecimento do seu empreendimento, ou seja, ter uma ideia mais aproximada quanto às características dos possíveis compradores, a média de pessoas que compõem estas famílias, dentre outros dados. São ações que, evidentemente, possibilitam a elaboração de projetos mais adequados às necessidades e expectativas dos clientes. São estratégias que podem minimizar o número de pedidos de modificações. Por outro lado, o Departamento de Arquitetura (Projetos), juntamente com o Departamento de Engenharia, podem desenvolver estudos para gerar menus de escolha quanto aos arranjos espaciais e quanto aos materiais de acabamento. É possível buscar estratégias não somente para melhoria do processo de personalização livre (flexibilidade permitida), mas também na direção da customização em massa (rol de alternativas próprio da flexibilidade planejada).

Seja para atuar na personalização livre, seja para adotar a personalização em massa, é importante que seja criada uma equipe de atendimento ao cliente, atuando no controle e acompanhamento de todo o processo que venha a ser proposto.

O novo modelo proposto neste estudo busca organizar os procedimentos, com maior integração entre os participantes. Não traz mudanças extremas e mantém a estratégia da flexibilidade permitida, porém agora de forma mais organizada, possibilitando um fluxo mais adequado e mais eficiente, incluindo uma maior documentação e formalização para cada etapa do processo. O referido modelo foi encaminhado à empresa com vistas a sua adoção, o que possibilitará novo acompanhamento para sua validação.

Como já comentado neste trabalho, existem particularidades de cada empresa, como cultura, estrutura organizacional, exigência de mercado, padrão das obras e classe social do público alvo que interferem nas estratégias

e procedimentos adotados. Cada empresa deve definir seus processos internos para trabalhar com a oferta de produtos personalizados. Em função dos segmentos de mercado em que a empresa atua, é possível desenvolver diferentes estratégias de personalização, mais livre ou mais restrita a um rol de escolhas previamente estudadas.

Ainda que as constatações e propostas do presente trabalho sirvam exclusivamente ao caso estudado, os autores acreditam que as discussões sobre o tema venham a contribuir e subsidiar outros estudos sobre a customização do produto habitacional. Isto porque, muitas empresas do setor ainda tem uma postura reativa e carente de organização quando se trata de oferecer personalização.

AGRADECIMENTOS

À empresa que aceitou realizar o estudo, concedendo as entrevistas, as visitas nos canteiros, deixando à disposição projetos e documentos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575**: edificações habitacionais - desempenho parte 3: requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BRANDÃO, D. Q. **Diversidade e potencial de flexibilidade de arranjos espaciais de apartamentos**: uma análise do produto imobiliário no Brasil. 2002. 443 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- BRANDÃO, D. Q. **Flexibilidade, variabilidade e participação do cliente em projetos residenciais multifamiliares**: conceitos e formas de aplicação em incorporações. 1997. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- CAMPANHOLO, J. L. Construção personalizada: uma realidade do mercado. **Téchne**, São Paulo, v. 41, p. 63-66, 1999.
- CARVALHO, L. O. **Análise Qualitativa dos custos decorrentes da personalização de unidades habitacionais**. 2004. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- DURAY, R. et al. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **International Journal of Operations and Production Management**, United Kingdom, v. 18, n. 6, p. 605-625, 2000.
- FALCONI, T. M. A. **Personalização de projetos e obras em construtora de edificações residenciais**: estudo de caso. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.
- FRIEDMAN, A. **Adaptable house**: homes for change designing. New York: McGraw-Hill, 2002.
- FRUTOS, J. D. **Desenvolvimento de um sistema de informação para a interação ágil entre clientes e empresas incorporadoras e construtoras de condomínios residenciais**. 2000. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. PMCid:PMC3333055
- GREEF, A. C.; FREITAS, M. C. D.; ROMANEL, F. B. **Lean Office**: Operação, Gerenciamento e Tecnologias. São Paulo: Ed. Atlas, 2012.
- LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing customization. **Sloan Management Review**, Cambridge, v. 38, n. 1, p. 21-30, 1996.
- MOSCHEN, P. D. C. **Uma metodologia para personalização de unidades habitacionais em empreendimentos imobiliários multifamiliares**. 2003. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, R.; MOSCHEN, P. D. C. Personalização de apartamentos: um estudo de caso em uma cidade no sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 2001, Fortaleza. *Anais...* UFC, 2001.

PAGLIARONI, M. A. P. **Análise da gestão do processo de personalização de imóveis considerando os princípios da construção enxuta.** 2013. 233 f.

Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

PAIVA, A. L. S. A. **Habitação flexível:** análise de conceitos e soluções. 2002. 366 f. Dissertação (Mestrado em Arquitectura da Habitação) - Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

ROCHA, C. G. **A conceptual framework for defining customisation strategies in the house-building sector.** 2011. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROCHA, C. G.; FORMOSO, C. T.; SANTOS, A. An overview of the customisation strategies developed by four organisations of the house-building sector. In: INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., 2012, San Diego. *Proceedings...* IGLC, 2012.

SALDANHA, M. C. W.; SOUTO, M. Racionalização dos projetos na construção de edificações habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. *Anais...*UFSC, ANTAC, 1998.

SANTANA, C. L.; OLIVEIRA, D. N.; MEIRA, A. R. Caracterização de sistemas de personalização em construtoras da cidade de João Pessoa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. *Anais...* ANTAC, 2008.

SEBESTYEN, G. What do we mean by 'flexibility' and 'variability' of systems? **Batiment International, Building Research and Practice**, Paris, v. 6. n. 6, p. 370-374, 1978. <http://dx.doi.org/10.1080/09613217808550718>

SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**, Netherlands, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00079-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00079-7)

TILLMANN, P. A. **Diretrizes para a adoção da customização em massa na construção habitacional para baixa renda.** 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TILLMANN, P. A.; FORMOSO, C. T. Táticas de customização em massa para produção habitacional brasileira: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. *Anais...* ANTAC, 2008.

WEINSCHENCK, J. H. **Estudo da flexibilidade como mecanismo de casas pré-fabricadas:** uma abordagem voltada para a industrialização de casas no sistema plataforma. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

Correspondência

Taíssa Modesto Azevedo Falconi, taissa.modesto@hotmail.com
Douglas Queiroz Brandão, dbrandao@ufmt.br