

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FÁBIO KISCHEL DURANTE

**PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO
SISTEMA DE PRODUÇÃO APOIADO PELOS
PROCESSOS BIM**

CURITIBA

2016

FÁBIO KISCHEL DURANTE

**PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO
SISTEMA DE PRODUÇÃO APOIADO PELOS
PROCESSOS BIM**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Engenharia de Construção Civil, no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Scheer

CURITIBA
2016

-
- D951p Durante, Fábio Kischel
Proposta de diretrizes para o desenvolvimento do projeto do sistema de produção apoiado pelos processos BIM / Fábio Kischel Durante. – Curitiba, 2016.
102f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, 2016.
- Orientador: Sérgio Scheer.
1. Engenharia de Construção Civil planejamento. 2. Modelagem de informação da construção . I. Universidade Federal do Paraná. II. Scheer, Sérgio. III. Título.
- CDD: 627.8
-



Ministério da Educação
 Universidade Federal do Paraná
 Setor de Tecnologia
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil

ATA DE DEFESA DE MESTRADO

Aos 19 dias do mês de setembro de dois mil e dezesseis, no Auditório do CESEC do Setor de Tecnologia, foi instalada pelo Professor Dr. Sergio Scheer, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, a Banca Examinadora para a **ducentésima sexagésima terceira defesa de dissertação de Mestrado do PPGECC, área de concentração: Ambiente Construído e Gestão**. Estiveram presentes no ato professores, alunos e visitantes. A Banca Examinadora, atendendo determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, ficou constituída pelos professores: Banca Examinadora: Prof. Dr. Sergio Scheer (Orientador - Doutorado PUC – Rio de Janeiro) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR, Prof^ª. Dr^ª. Adriana de Paula Lacerda Santos (Doutorado Universidade Federal-SC) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR, Prof. Dr. Ricardo Mendes Junior (Doutorado Universidade Federal SC) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da UFPR e o Prof. Dr. Cesar Augusto Romano (Doutorado Universidade Federal SC) do Departamento de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do PR, às 09h00min, o Prof. Sergio Scheer, iniciou os trabalhos, convidando o **aluno Fábio Kischel Durante** para fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada "Proposta de diretrizes para o desenvolvimento do projeto do sistema de produção apoiado pelos processos BIM". Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes. Após a arguição, a banca reuniu-se para apreciação do desempenho do pós-graduando. Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela sua APROVAÇÃO de acordo com a Resolução nº. 65/2009-CEPE – UFPR.

Curitiba, 19 de setembro de 2016.

Prof. Dr. Sergio Scheer

Prof.^ª. Dr.^ª Adriana de Paula Lacerda Santos

Prof. Dr. Ricardo Mendes Júnior

Prof. Dr. Cesar Augusto Romano

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo apoio incondicional dado durante todo o desenvolvimento deste trabalho e imprescindível à sua realização.

Agradeço também aos meus amigos e a todos que de alguma forma me apoiaram e estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis e nos mais prazerosos desta jornada.

Agradeço a todos professores que tive durante os anos de estudo que me trouxeram até aqui. A inspiração que estes profissionais me trouxeram, mesmo diante das muitas adversidades, foi também o que me motivou a seguir em frente na vida acadêmica. Em especial gostaria de agradecer aos professores que incentivaram o desenvolvimento desta pesquisa e forneceram a orientação necessária para sua realização, Sérgio Scheer e Ricardo Mendes Junior.

Expresso também por aqui toda minha gratidão aos profissionais que me deram a oportunidade de atuar profissionalmente pesquisando e desenvolvendo BIM no mercado trabalho aqui em Curitiba, o que permitiu refinar minha visão sobre a tecnologia e sua relação com a indústria da construção, e que também muito incentivaram o desenvolvimento desta pesquisa, Marlon Camara Garrido e Tiago Campestrini. Agradeço também aos excelentes profissionais da “empresa Alfa” por colaborarem com esta pesquisa.

O aspecto mais triste da vida de hoje é que a ciência ganha em conhecimento mais rapidamente que a sociedade em sabedoria.

Isaac Asimov

RESUMO

Empreendimentos de construção civil têm se tornado cada vez mais complexos e difíceis de se gerenciar. Apesar do que acontece em outras indústrias, o uso de tecnologias da informação e comunicação na indústria da construção é considerado baixo e a baixa produtividade do setor pode ser atribuída, também, a este fator. É neste cenário que vem sendo introduzido um novo paradigma de desenvolvimento de projetos, através do *Building Information Modeling* (BIM). Nesta pesquisa busca-se entender como o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção (PSP) pode ser facilitado pelo uso de processos BIM e estabelecer diretrizes para o desenvolvimento do PSP baseado no BIM. O PSP trata-se de uma técnica gerencial baseada em princípios da construção enxuta e que visa integrar as informações sobre o projeto e sua execução de forma a garantir um fluxo de trabalho mais rápido e confiável, enquanto entrega o valor esperado ao cliente. Para atender ao objetivo desta pesquisa foi adotado o estudo de caso como estratégia de pesquisa. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura acerca do PSP na construção civil, com o objetivo de entender as principais características, requisitos, fluxos e ferramentas associadas ao PSP, para posteriormente relacioná-los com funcionalidades do processo BIM, também levantadas a partir da literatura específica. A partir desta base estabelecida na literatura, foram realizadas entrevistas com profissionais que atuam na área, visando validar o escopo de decisões identificado e verificar a aderência ao modelo idealizado de desenvolvimento do PSP em um caso real. Em seguida foi desenvolvida uma matriz relacionando as principais funcionalidades do BIM com os princípios do PSP. Desta relação estabelecida na matriz foi realizada uma análise do potencial do referencial teórico conceitual para aplicações do BIM no processo de desenvolvimento do PSP. Através das entrevistas realizadas identificou-se o processo de desenvolvimento do PSP na empresa estudada e então foi realizado um diagnóstico deste processo, comparando-o com os modelos para sua realização identificados na literatura. Com base no potencial de aplicação do BIM no PSP, foram então sugeridas diretrizes para a adoção de tal processo na empresa estudada. Notou-se haver uma sinergia entre o PSP e o BIM. Apesar do primeiro não depender do segundo para ser realizado, o controle sobre os dados de projeto proporcionado pelo BIM demonstrou possibilitar o desenvolvimento do PSP de maneira mais prática e confiável. A importância de uma base de dados adequada para este fim, entretanto, demonstrou-se essencial para prover a base necessária para a tomada de decisões. Contudo serão necessários estudos mais aprofundados para verificar através da prática os benefícios alcançados e dificuldades enfrentadas.

Palavras chave: Projeto do Sistema de Produção; PSP; BIM; Modelagem da Informação da Construção; Planejamento.

ABSTRACT

Construction projects have become increasingly complex and difficult to manage. Regardless of what happens in other industries, the use of information and communication technologies in the construction industry is considered low and the low productivity of the sector can be attributed also to this factor. It is in this scenario that a new paradigm of project development has been introduced, through Building Information Modeling (BIM). In this research, we intend to understand how the development of the Production System Design (PSD) can be facilitated using BIM processes and establish guidelines for the development of PSD based on BIM. The PSD is a management technique based on principles of lean construction and aims to integrate information about the project and its execution to ensure a faster and more reliable workflow while delivering the expected value to the client. To meet the objective of this research, a case study was adopted as research strategy. A systematic review of the literature on PSD in civil construction was carried out to understand the main characteristics, requirements, flows and tools associated with the PSD and then to relate that with the features of BIM process, also raised on the specific literature. From this basis established in the literature, interviews were conducted with professionals who work in the area, aiming to validate the identified decision scope and verify the adherence to the idealized model for PSD development in a real case. Next, a matrix was developed relating the main functionalities of BIM with the principles of PSD. From this relation established in the matrix was carried out an analysis of the potential of the theoretical conceptual reference for BIM applications in the PSD development process. Through the interviews the process of PSD development in the studied company was identified and then a diagnosis of this process was made comparing it with the models to realize this process identified in the literature. Based on the potential of applying BIM in the PSD process, guidelines were then suggested for the adoption of such process in the company studied. A synergy between PSD and BIM was identified. Although the former does not depend on the latter to be performed, the control over the design data provided by BIM has demonstrated to enable the development of the PSD in a more practical and reliable way. The importance of an adequate database for this purpose, however, has proved essential to provide the necessary basis for decision-making. However further studies will be needed to ascertain through practice the benefits achieved and difficulties encountered. However further studies are needed to verify through practical cases the benefits achieved and difficulties faced.

Keywords: Project System Design; PSD; BIM; Building Information Modeling; Planning

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MODELO DE REPRESENTAÇÃO DO FLUXO DA INFORMAÇÃO.....	22
FIGURA 2 - QUANTIDADE DE CONCEITOS DE QUALIDADE DE DADOS MAIS CITADOS PELA LITERATURA.....	24
FIGURA 3 - PRODUTIVIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMPARADA COM OUTRAS INDÚSTRIAS.....	25
FIGURA 4 - VALOR AGREGADO POR EMPREGADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO EUA.....	26
FIGURA 5 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP EM EHS	35
FIGURA 6 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP EM EMPREENHIMENTOS COMPLEXOS	38
FIGURA 7 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP PROPOSTO POR SCHRAMM (2009)	39
FIGURA 8 - ESTÁGIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DA SIMULAÇÃO NO PSP	40
FIGURA 9 - MODELO PARA A CONDUÇÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	53
FIGURA 10 - MATRIZ DE INTERAÇÕES ENTRE PRÍNCÍPIOS DO PSP E FUNCIONALIDADES BIM.....	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PALAVRAS-CHAVE, FILTRAGENS E NÚMERO RESULTANTE DE TRABALHOS.....	56
TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONTEÚDO.....	57

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ETAPAS DO PROCESSO DE PROJETO	27
QUADRO 2 - ESCOPO DE DECISÕES DO PSP	32
QUADRO 3 - ELEMENTOS DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	34
QUADRO 4 - PRINCIPAIS USOS DO BIM	47
QUADRO 5 - TRABALHOS RELEVANTES	58
QUADRO 6 - PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	60
QUADRO 7 - PRINCIPAIS DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DO PSP BASEADO EM PROCESSOS BIM E OS DADOS ASSOCIADOS.....	75

LISTA DE SIGLAS

AECO	–	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações
AIA	–	<i>American Institute of Architects</i>
BIM	–	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	–	<i>Computer Aided Design</i>
CRA	–	<i>Constructive Research Approach</i>
EHIS	–	Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social
FRS	–	<i>First Run Study</i>
IC	–	Indústria da Construção
IDM	–	<i>Information Delivery Manual</i>
IFC	–	<i>Industry Foundation Classes</i>
IFD	–	<i>International Framework for Dictionaries</i>
LCI	–	<i>Lean Construction Institute</i>
LOD	–	<i>Level of Development</i> , ou <i>Detail</i>
NBR	–	Norma Brasileira
PSP	–	Projeto do Sistema de Produção
RBS	–	Revisão Bibliográfica Sistemática
RSL	–	Revisão Sistemática da Literatura
TIC	–	Tecnologias da Informação e Comunicação
TICHIS	–	Tecnologias da Informação e Comunicação para Habitações de Interesse Social

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	16
1.3 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	16
1.4 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	17
1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 GESTÃO DA INFORMAÇÃO	19
2.1.1 Fluxo de informação:.....	20
2.1.2 Qualidade da Informação	23
2.2 GESTÃO DE PROJETOS	26
2.3 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	28
2.3.1 Definições de PSP	29
2.3.2 Escopo de Decisões do PSP.....	32
2.3.3 Fluxo de Informações no PSP	33
2.3.4 Estágios de implementação da simulação no PSP segundo Schramm (2009)	39
2.3.5 Técnicas e ferramentas aderentes ao PSP	41
2.3.6 Considerações sobre o PSP	42
2.4 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM).....	43
2.4.1 Aplicações e Benefícios e Dificuldades relacionadas ao Processo BIM	46
3 MÉTODO DE PESQUISA	50
3.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA	50
3.2 VALIDADE DO TRABALHO	51
3.2.1 Validade Externa	51
3.2.2 Validade Do Constructo.....	51
3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	52
3.3.1 Etapa Exploratória.....	53
3.3.2 Etapa de Desenvolvimento.....	61
3.4 DESCRIÇÃO DA EMPRESA EM QUE FOI REALIZADO O ESTUDO.....	62
4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	64
4.1 MATRIZ DE INTERAÇÕES ENTRE FUNCIONALIDADES BIM E PRINCÍPIOS DO PSP.....	64

4.2 ANÁLISE DO POTENCIAL DO REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL PARA APLICAÇÕES DO BIM NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP	68
4.2.1 Captação das necessidades dos clientes.....	69
4.2.2 Definição da sequência de execução do empreendimento	71
4.2.3 Definição da unidade base	71
4.2.4 Dimensionamento da capacidade de recursos.....	72
4.2.5 Estudo dos fluxos de trabalho	72
4.2.6 Estudo dos processos críticos.....	73
4.3 CONSIDERAÇÕES	74
5 ESTUDO DE CASO	77
5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA EMPRESA ESTUDADA.....	78
5.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP NA EMPRESA ALFA	79
5.3 DIAGNÓSTICO DA EMPRESA ALFA.....	80
5.3.1 Captação das necessidades dos clientes.....	81
5.3.2 Definição da sequência de execução do empreendimento	82
5.3.3 Definição da unidade base	82
5.3.4 Dimensionamento da capacidade de recursos.....	83
5.3.5 Estudo dos fluxos de trabalho	83
5.3.6 Estudo dos processos críticos.....	84
5.4 SUGESTÕES PARA ADOÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP COM USO DO BIM PELA EMPRESA ALFA.....	84
5.4.1 Captação das necessidades dos clientes.....	85
5.4.2 Definição da sequência de execução do empreendimento	86
5.4.3 Definição da unidade base	86
5.4.4 Dimensionamento da capacidade de recursos.....	87
5.4.5 Estudo dos fluxos de trabalho	88
5.4.6 Estudo dos processos críticos.....	88
6 CONCLUSÃO	89
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil é mundialmente reconhecida pela sua baixa eficiência/eficácia, baixa produtividade e grande fragmentação do setor, envolvendo muitos agentes em diferentes frentes de serviço em um mesmo empreendimento (VRIJHOEF; KOSKELA, 2005). Desta fragmentação e pela falta de padrões que centralizem a comunicação e organizem o planejamento, surgem elevados custos relacionados a interoperabilidade dos sistemas aplicados nos empreendimentos, baixa produtividade e qualidade final do produto (YANG; WEI, 2010). Scheer et al. (2008) afirma que a gestão deficitária das informações no processo de desenvolvimento dos projetos, inclusive na fase de execução e operação, pode ser apontada como causa para a baixa qualidade dos projetos. O uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) se torna cada vez mais importante no sentido de promover a inovação, suportar a tomada de decisão e o gerenciamento de processos (CALAZANS, 2008).

Segundo Scardoelli et al. (1994, citado por NASCIMENTO; LAURINDO; TOLEDO, 2003, p. 2) a indústria da construção sofre um grande atraso tecnológico em relação a outras indústrias e setores. Isso devido à:

[...] resistência às inovações tecnológicas; emprego de métodos de gestão ultrapassados; excessivo esforço físico e condições adversas de mão de obra; falta de incorporação de uma nova base de organização do trabalho a partir do uso da tecnologia da informação; e mecanismos ineficazes de gerenciamento das interfaces dos processos.

Diante do aumento da complexidade dos projetos e dos processos envolvidos na construção de empreendimentos surge a necessidade da adoção de uma mentalidade industrial para o desenvolvimento dos projetos. Técnicas como: *Lean Manufacturing* e a modelagem paramétrica tridimensional orientada a objetos; que já são utilizadas em outras indústrias, potencialmente podem também ser desenvolvidas no contexto da indústria da construção. Deste cenário originou-se o conceito de Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling*, BIM), caracterizado como uma modelagem que prioriza a integração de todos os processos relacionados à construção do produto edificação (SOUZA; AMORIM; LYRIO, 2009).

O BIM pode ser definido, segundo Succar (2009), como uma tecnologia emergente na indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO)

representada por um conjunto de políticas, processos e tecnologias interagindo entre si e gerando uma metodologia para a gestão dos dados de projeto em formato digital por todo o ciclo de vida da edificação.

Apesar do crescente interesse da indústria e de pesquisadores do setor na última década, há uma necessidade de se estabelecerem protocolos e arcabouços que integrem a modelagem do produto e dos processos relacionados e que criem uma ponte entre o entendimento acadêmico e industrial do processo BIM (SUCCAR, 2009).

Dentre as atividades que compõem o desenvolvimento dos projetos de construção, o Projeto do Sistema de Produção (PSP) é um processo gerencial que antecede a etapa de produção e, se bem realizado, pode contribuir em um melhor desempenho do empreendimento (RODRIGUES, 2006). Enquanto que o processo BIM prevê uma maior integração entre os processos de AECO, através, principalmente, da organização e distribuição sistemática das informações que permeiam estes processos (EASTMAN, 2014).

Diante das características e funcionalidades do BIM, é esperado que o desenvolvimento do PSP seja facilitado pela realização de processos relacionados ao BIM. A integração das informações do projeto em um modelo federado¹ deverá fornecer uma base de dados sólida para a análise, avaliação das diferentes possibilidades e cenários e, finalmente, a tomada de decisão. Ainda, tecnologias associadas ao BIM poderão automatizar algumas atividades ou evitar o trabalho de reinserir dados em diferentes plataformas e softwares que auxiliem o desenvolvimento do PSP, graças à centralização das informações em um mesmo modelo. A exemplo do sistema desenvolvido por Kumar e Cheng (2015), que utiliza o modelo BIM e dados fornecidos pelo usuário para definir de maneira automatizada o leiaute ideal do canteiro, segundo as características do projeto, outros sistemas poderão ser desenvolvidos para facilitar esta e outras etapas do PSP, através do uso extensivo de TICs associadas ao modelo BIM. Outra característica que pode representar uma possibilidade de uso vantajosa ao processo de desenvolvimento do PSP é a

¹ Lowe e Muncey (2009) definem um modelo federado como um modelo composto por modelos distintos, desenhos derivados dos modelos, textos e outras fontes dados conectadas, em que suas fontes de dados não perdem a identidade ou integridade pelo fato de estarem conectadas. LOWE, R. H.; MUNCEY, J. M. ConsensusDOCS 301 BIM Addendum. **Construction Lawyer**, EUA, v. 29, n. 1, p. 1-9, 2009.

possibilidade de se utilizar dados históricos, já que o armazenamento destes dados e o acesso aos mesmos poderá ser facilitado pelo BIM.

Diante destas possibilidades de associação entre tais tecnologias e o processo BIM, esta pesquisa busca estabelecer padrões de requisitos de informação necessários ao desenvolvimento e retroalimentação do PSP através do uso de métodos e tecnologias associadas ao processo BIM, buscando assim facilitar o processo de desenvolvimento do PSP. Ao longo deste capítulo 1 serão apresentados os objetivos desta pesquisa, sua justificativa e delimitações.

Para atingir estes objetivos foi realizada uma revisão bibliográfica abrangendo questões pertinentes de gestão da informação e de projetos de construção civil, assim como, do processo de desenvolvimento do PSP e das características da Modelagem da Informação da Construção (BIM). Para compreender melhor as características e questões acerca do PSP no contexto da indústria da construção (IC), foi realizada uma revisão sistemática da literatura buscando identificar, ainda, o fluxo e os requisitos da informação neste processo, assim como o escopo de decisões envolvido. Já a pesquisa sobre BIM buscou definir este processo e suas implicações nos processos da IC, identificando suas principais aplicações e benefícios. Os resultados desta revisão da literatura são apresentados no capítulo 2 da presente pesquisa.

No capítulo 3 é apresentado o método de pesquisa utilizado. É trazida uma breve descrição da estratégia de pesquisa adotada e a justificativa da escolha da abordagem de estudo de caso para sua realização. São trazidas discussões acerca da validade da pesquisa. Em seguida apresenta-se o delineamento da pesquisa, ou seja, a descrição de suas etapas e da empresa que foi objeto de estudo, aqui denominada de empresa Alfa.

O capítulo 4 trata do desenvolvimento da pesquisa. À luz da literatura consultada foi desenvolvida uma matriz de interações entre princípios do PSP e funcionalidades BIM, de forma análoga à matriz de interações entre BIM e o *Lean Construction* proposta por Sacks et al. (2009; 2010). O desenvolvimento desta matriz tem como objetivo estabelecer a relação entre estes processos, de forma a embasar o desenvolvimento da análise do potencial de aplicação do BIM no desenvolvimento do PSP. Esta análise é apresentada na sequência e ao final do capítulo são definidas as diretrizes genéricas para a implantação e realização de um processo de desenvolvimento do PSP apoiado por processos BIM.

No capítulo 5 são descritos os processos de desenvolvimento de projetos e do PSP na empresa estudada, a partir dos dados obtidos em entrevistas realizadas com profissionais da organização. Em seguida é apresentada uma análise crítica do processo de PSP realizado na empresa Alfa à luz dos modelos identificados na literatura. Ao final do capítulo são apresentadas sugestões para a adoção de um processo sistemático de desenvolvimento do PSP com utilização do BIM para a empresa Alfa.

O capítulo 6 apresenta as conclusões desta pesquisa, fazendo uma análise da relevância de cada capítulo para o desenvolvimento da pesquisa e ampliando a discussão a partir das principais inferências obtidas. Ao final são também sugeridos alguns tópicos de pesquisa relacionados ao aprofundamento das questões levantadas neste trabalho.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Diante do contexto apresentado, o problema proposto para essa pesquisa é: Como o processo de Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode contribuir para o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção (PSP) de edifícios?

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Mediante o problema de pesquisa apresentado foi definido o seguinte objetivo: Propor um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção de edifícios, apoiado por processos BIM.

1.3 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Orientando-se ao cumprimento do objetivo principal, alguns objetivos secundários foram definidos para o desenvolvimento desta pesquisa:

- a) Definir o escopo de decisões abrangido pelo Projeto do Sistema de Produção de edifícios;
- b) Investigar quais dados e informações são requeridas para a tomada de decisões do escopo de decisões abrangido pelo PSP de edifícios;

- c) Investigar quais métodos, técnicas e ferramentas podem ser utilizadas para a elaboração do PSP apoiado pelo processo BIM;
- d) Investigar quais as principais dificuldades para a implementação do processo e benefícios obtidos.

1.4 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A partir de uma perspectiva global, há uma necessidade emergente de se aprofundar os estudos que tratem das Tecnologias da Informação e Comunicação para a Indústria da Construção, especialmente aquelas relacionadas à Modelagem da Informação da Construção. Esta tecnologia deverá promover um aumento da colaboração e uma profunda mudança cultural nos processos de desenvolvimento de empreendimentos de construção e, portanto, é necessário o desenvolvimento de protocolos, guias, métodos e modelos que orientem seu uso e implantação (SUCCAR, 2009; KASSEM et al., 2014).

Já na perspectiva local, a Universidade Federal do Paraná, através do Grupo TIC e de parcerias com outras universidades, com o projeto TICHIS (Tecnologias da Informação e Comunicação para Habitações de Interesse Social) vem promovendo o desenvolvimento de pesquisas nacionais relacionadas ao tema.

Segundo Manzione (2013), há no Brasil, assim como em outros países, a necessidade de reformular aspectos relacionados às pessoas, processos, tecnologia e dados envolvidos no processo de projeto, de forma a atender às necessidades de crescimento e melhorar a qualidade da construção civil.

Dada a importância de tais tecnologias para o aumento da qualidade de projetos, esta pesquisa busca preencher uma lacuna identificada pelo autor em pesquisas que associem o uso de processos BIM para o desenvolvimento do PSP. Assim como, o próprio tema PSP para construção civil carece de maior aprofundamento em pesquisas. Desta forma estabelece-se a relevância desta pesquisa para o meio acadêmico e para a indústria. Espera-se, também, que esta pesquisa possa ser replicada para avaliar os impactos das diretrizes propostas e ampliar o conhecimento acerca da relação entre o PSP e o BIM.

1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esta pesquisa foi realizada através do estudo em uma construtora na cidade de Curitiba, Paraná, e focada em empreendimentos de múltiplos pavimentos. O processo de desenvolvimento do PSP realizado nesta construtora pode não representar de forma geral os processos utilizados em outras construtoras ou para outros tipos de empreendimento.

Os modelos de desenvolvimento do PSP utilizados como base para este estudo, Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006), tratam respectivamente de empreendimentos de habitação de interesse social (EHIS) e empreendimentos complexos. Estes modelos foram analisados e adaptados para o contexto em que está inserida a construtora objeto deste estudo e, portanto, necessitará ser aplicado em novos estudos, além deste, para sua validação e verificação da compatibilidade com empreendimentos de características diferentes em relação a tipologia das edificações abrangidas neste estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão da literatura a seguir busca explorar os principais conceitos associados ao presente trabalho. Irá descrever a importância da gestão da informação para a indústria, demonstrando ainda como a mesma ocorre de maneira falha na indústria da construção. Explora, ainda, os conceitos de fluxo e qualidade da informação. De forma objetiva será, também, abordado o processo de gestão de projetos na construção. Em seguida a revisão irá tratar dos temas principais desta pesquisa, o Projeto do Sistema de Produção e o processo BIM.

2.1 GESTÃO DA INFORMAÇÃO

Com a importância e o valor que a informação adquiriu nos últimos anos para as organizações, surge a necessidade de gerenciar essa informação. Diferentes tecnologias da informação e comunicação têm sido aplicadas na indústria com este objetivo. Entretanto, conforme afirma Andrade (2000), a inserção destas tecnologias não vem recebendo a atenção e o tratamento necessários tornando difícil a localização/recuperação das informações nos momentos que a mesma se faz necessária, não cumprindo, assim, seu objetivo.

Segundo Greef, Freitas e Romanel (2012, p. 81) “cabe a cada gestor zelar e ter sua própria estratégia para administrar aspectos informacionais”. Davenport (1998, p. 173) afirma que o gerenciamento informacional se trata de um processo, “um conjunto estruturado de atividades que incluem o modo como às empresas obtêm, distribuem e usam a informação e o conhecimento”.

Nonaka e Takeuchi (2000, citado por GREEF; FREITAS; ROMANEL, 2012) afirmam que o conhecimento é gerado do processamento de informações, que utiliza insights, muitas vezes na forma de dados, e a própria experiência das pessoas que atuam no ambiente, onde essas informações estão inseridas. Inclui, portanto, reflexão e contexto, e é de difícil estruturação, sendo normalmente encontrado de forma tácita, ou subentendida, o que dificulta sua transferência e/ou gestão (DAVENPORT, 1998).

A gestão da informação deve estabelecer processos e fluxos sistematizados e estruturados, que estejam, ainda, correlacionados com os agentes responsáveis pela condução dessas informações, para que sejam atingidos os resultados

esperados e tragam vantagens competitivas às organizações capazes de gerenciar essas informações (VITAL; FLORIANI; VARVAKIS, 2010).

Em princípio, o desafio está, portanto, em entender como as informações fluem dentro da organização, de forma a possibilitar a análise deste fluxo, identificando onde e como é possível gerenciar essas informações. Davenport (1998) sugere 4 (quatro) passos para a gestão da informação nas organizações:

1. Determinação das exigências da informação: Consiste na identificação das necessidades de informação de entrada no processo em questão. É normalmente um enorme desafio, pois envolve identificar como os gerentes e funcionários percebem seus ambientes informacionais. É necessário avaliar de forma individual e coletiva, no sentido organizacional, sob a perspectiva política, psicológica, cultural e estratégica.
2. Obtenção de informações: Trata-se de uma atividade contínua, sendo mais eficaz quando incorporada ao processo em si. Pode ainda ser subdividida em: (a) exploração de informações; (b) classificação em uma estrutura pertinente; (c) formatação e (d) estruturação das informações.
3. Distribuição das informações: Deve ocorrer a partir das exigências de cada agente, visto que informações em excesso tendem a reduzir a qualidade do processo.
4. O uso da informação: É importante que esse seja constantemente avaliado, de forma a verificar se as etapas anteriores foram aplicadas com sucesso.

Segundo Scheer et al. (2008), fluxos de informação têm papel fundamental em processos decisórios, por considerar que o indivíduo não pode gerar sozinho todas as informações necessárias para a tomada de decisão. Dada a importância de se conhecer o fluxo da informação, a próxima seção dedica-se a apresentar conceitos e aprofundar o estudo deste fluxo, de forma a inseri-lo no processo de projeto.

2.1.1 Fluxo de informação:

A informação gerida de forma eficaz, pode se tornar o elemento propulsor do conhecimento e da inovação em uma organização. Fluxos de informações bem estruturados são capazes de fornecer aos gestores subsídios para o processo de

tomada de decisão (VITAL, FLORIANI; VARVAKIS, 2010). Scheer et al. (2008) comenta que a habilidade de processar dados, transforma-los em informação, distribuí-los adequadamente e usá-los com rapidez para tomada de decisão, será determinante na sobrevivência de uma organização. Visão compartilhada por Vital, Floriani e Varvakis (2010) que reconhecem, ainda, que as organizações que obtiverem sucesso na administração destes fluxos, terão recursos estratégicos fundamentais para obterem destaque no mercado.

O fluxo de informação pode ser definido como a “sequência de eventos, desde a geração da informação por parte do emissor, até sua captação / assimilação / aceitação pelo receptor, gerando saberes tanto individuais quanto ao grupo envolvido no processo” (BARRETO, 1998). O fluxo interno à empresa pode ser visto sob a perspectiva horizontal (entre funções) e vertical (entre os níveis estratégico, tático e operacional) (GREEF; FREITAS; ROMANEL, 2012).

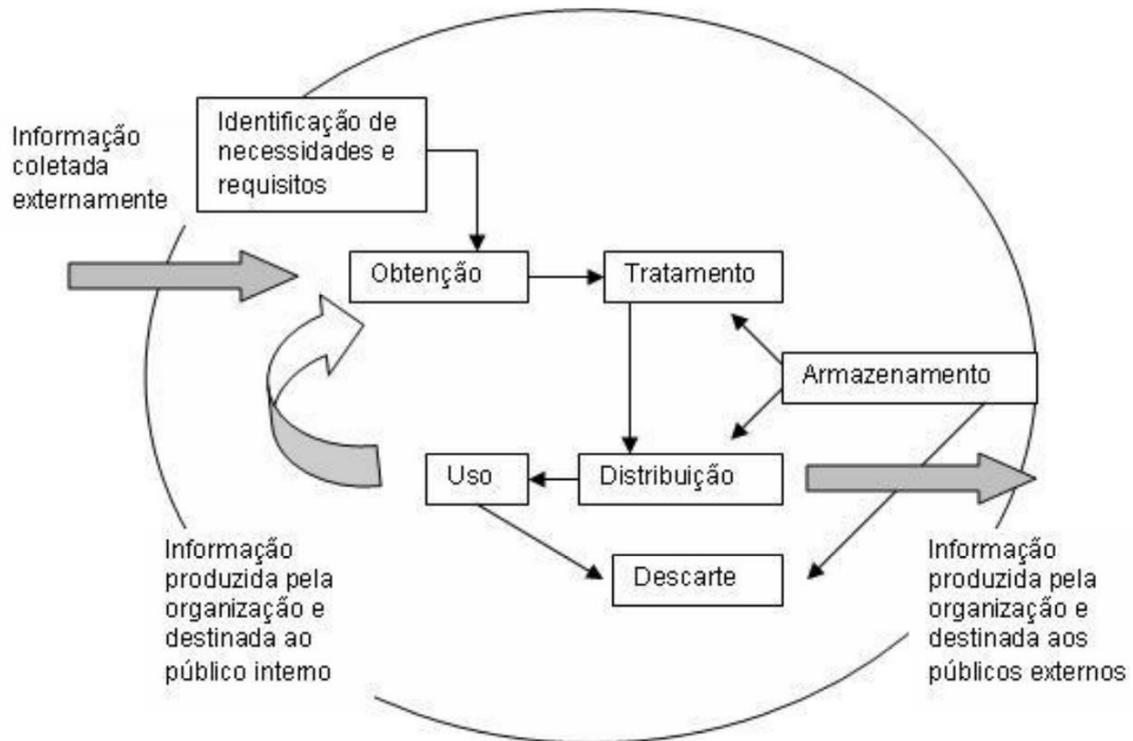
O mapeamento do fluxo, assim como sua representação através de ferramentas como o fluxograma, facilita também a visualização de falhas nos processos, que possam comprometer a qualidade do mesmo. A identificação destas falhas caberá aos atores dos processos mapeados. A busca da melhoria, através da correção das falhas identificadas, deve ocorrer de forma estruturada, visando o coletivo e evitando a preocupação individual, de forma também, a evitar que sejam criados novos gargalos e problemas (GREEF; FREITAS; ROMANEL, 2012).

A importância de se trabalhar com o fluxo de informações interna e externamente às organizações, reside também no fato de que para que sejam tomadas decisões adequadas, os responsáveis por esse trabalho, reconhecidamente, precisam de informações advindas de outros indivíduos, setores ou mesmo de outras organizações. O modelo de Beal (2004, citado por VITAL; FLORIANI; VARVAKIS, 2010) representado na (FIGURA 1) demonstra o fluxo da informação.

Neste modelo, é fundamental se destacar a importância da etapa de identificação de necessidades e requisitos, para que possam ser geradas informações orientadas à necessidade de cada cliente da informação. A etapa seguinte, de obtenção das informações, deve ocorrer de forma contínua, cabendo às etapas seguintes tratar e filtrar essas informações, conforme à necessidade verificada na primeira etapa.

A distribuição deve ocorrer de forma oportuna, fazendo com que as informações cheguem a quem às solicita no exato momento em que são requisitadas, e pode ocorrer de forma interna à organização, ou externa.

FIGURA 1 - MODELO DE REPRESENTAÇÃO DO FLUXO DA INFORMAÇÃO.



FONTE: Vital, Floriani e Varvakis (2010).

Após a etapa de uso, as informações devem ser armazenadas de forma segura e que permita sua reutilização caso seja novamente solicitada. Dessa forma, dados e informações inúteis e/ou obsoletas devem ser descartadas, permitindo uma melhora no processo de gestão da informação.

Segundo Scheer et al. (2008), o fluxo de informações na construção civil é precário, incompleto, burocrático e centralizado. A quantidade e diversidade de informações geradas e a dispersão geográfica dos envolvidos tornam a atividade de tomada de decisão crítica na indústria. Ainda, os autores discutem sobre a necessidade do estudo da estrutura organizacional, buscando a tomada de decisão certa de acordo com objetivos organizacionais. Torna-se necessário identificar esses fluxos e criar uma estrutura que facilite o uso e recuperação das informações. É advento da gestão da informação, que possibilite ações integradas com objetivo de

prospectar, selecionar, filtrar, tratar e disseminar todo o ativo informacional e intelectual da organização.

Além da necessidade de alinhar o fluxo das informações com os objetivos da organização, a qualidade das informações que permeiam o fluxo é outro quesito importante. A próxima seção irá tratar desse fator.

2.1.2 Qualidade da Informação

A norma NBR ISO 9000 (ABNT, 2005) define qualidade como o “grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos”, sendo requisito qualquer “necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente, de forma implícita ou obrigatória”. A mesma norma relaciona, ainda, o termo com a “satisfação do cliente” que se refere a “percepção do cliente do grau no qual os seus requisitos foram atendidos”. Desse ponto de vista a satisfação do cliente se torna subjetiva, pois a percepção da qualidade possivelmente irá variar de cliente para cliente.

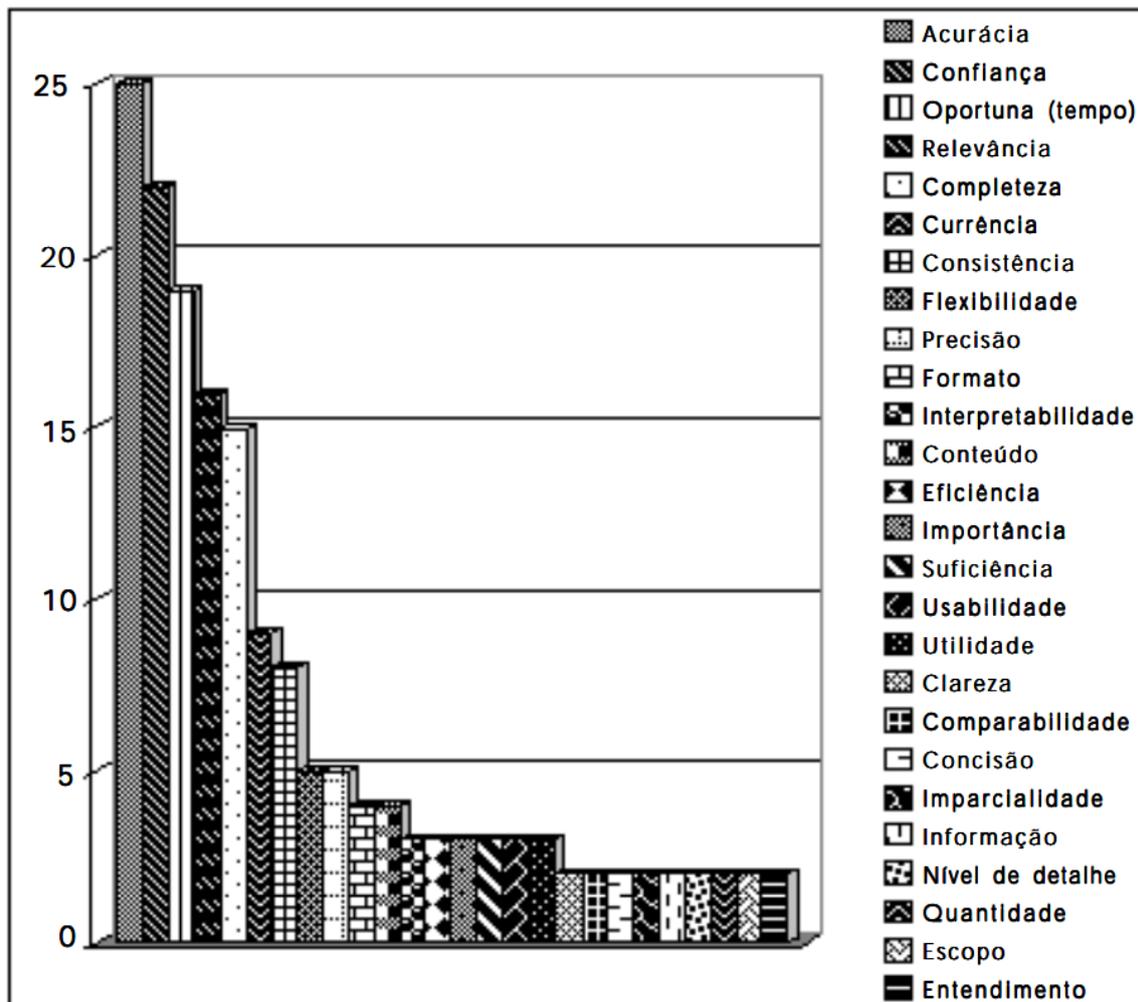
Na literatura não há um consenso sobre definições teóricas e operacionais da qualidade da informação. É comum verificarmos a citação de fatores necessários a uma informação, para que seja dotada de qualidade, tais como: credibilidade, relevância, validade, confiabilidade, valor, completeza, acessibilidade, tempo, entre outros, que, em geral, dependem da percepção do usuário, sendo classificadas por alguns autores como ambíguas, vagas ou subjetivas (OLETO, 2006). A (FIGURA 2) apresenta um gráfico com os conceitos de qualidade mais citados pela literatura.

A qualidade da informação pode ser entendida como a capacidade de atender aos requisitos de quem solicita essa informação, trazendo usabilidade a mesma. Nascimento e Santos (2003) afirmam que da mesma forma em que a falta de informações nos processos da construção pode conduzir a decisões erradas e provocar erros de execução e projeto, gerando retrabalhos, o excesso de informações pode tomar o mesmo caminho, inundando os usuários da informação com dados irrelevantes, gerando sobrecarga de informações. As consequências podem vir também na forma de estresse e desmotivação do usuário, que precisa garimpar as informações, reduzindo a produtividade.

O problema gerado pelo não cumprimento dos requisitos necessários a uma informação, dentro de um processo de manufatura, é também a perda da qualidade

do produto final e possíveis retrabalhos durante sua execução. Na indústria da construção civil essa situação é crítica e tem sido uma das causas da baixa produtividade do setor, que está praticamente estagnado há anos, como pode ser verificado na (FIGURA 3) (TEICHOLZ, 2001). Corroboram a essa questão trabalhos mais recentes, com dados atualizados, como na (FIGURA 4), publicada pela *National Society of Professional Engineers*, com dados do *US Department of Labor* e *US Bureau of Economic Analysis* a respeito do valor agregado por funcionário empregado em construções no EUA no período 1993-2013 e que refletem a estagnação do setor no período.

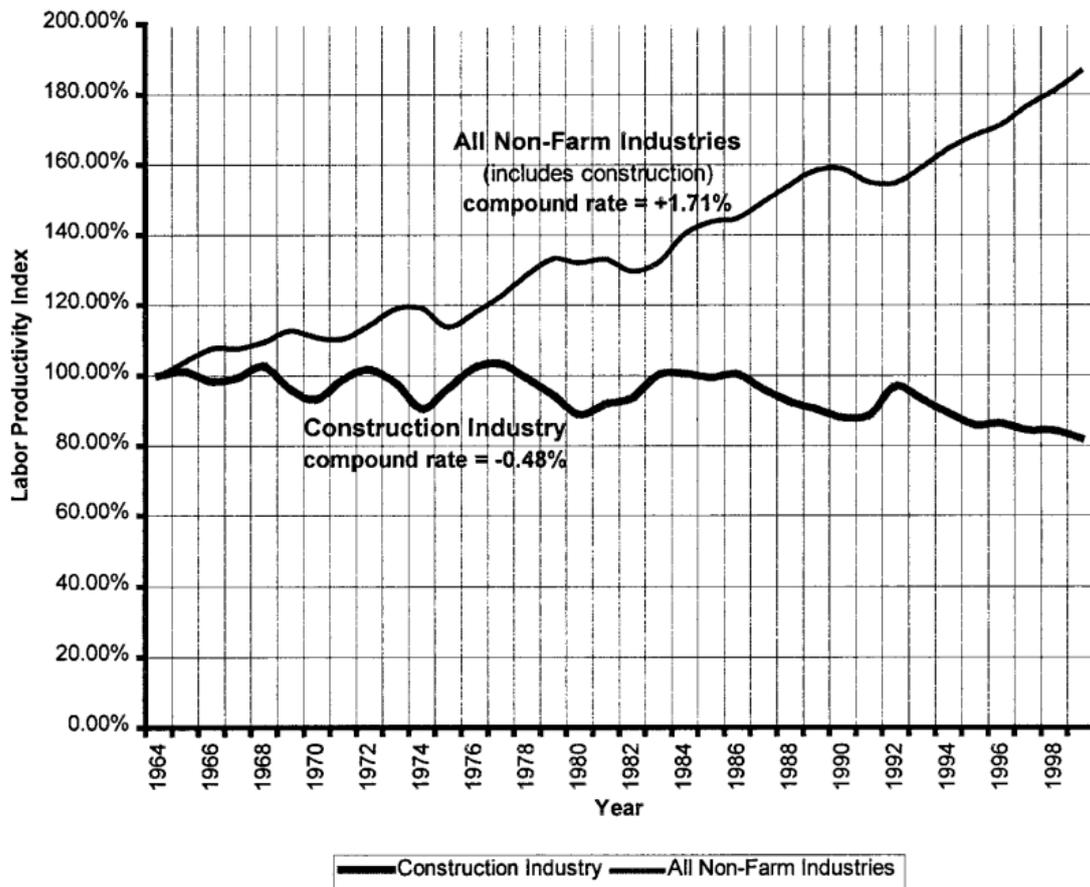
FIGURA 2 - QUANTIDADE DE CONCEITOS DE QUALIDADE DE DADOS MAIS CITADOS PELA LITERATURA.



FONTE: Calazans (2008).

O uso de Tecnologias da Informação e Comunicação muito abaixo de outros setores da indústria, é certamente uma das causas da baixa produtividade do setor, visto que notoriamente a aplicação extensiva de TIC tem auxiliado outros setores da indústria de transformação a potencializar sua produção (NASCIMENTO e SANTOS, 2003).

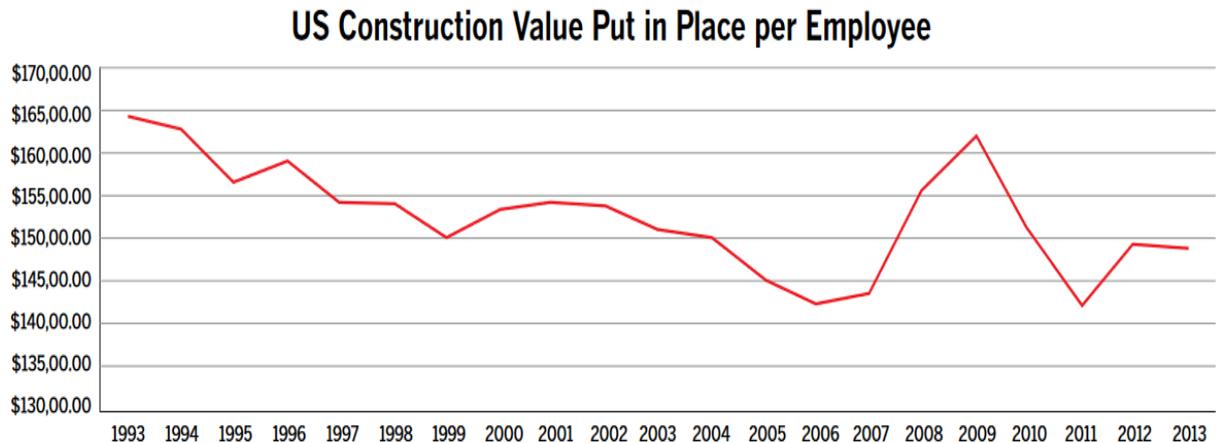
FIGURA 3 - PRODUTIVIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMPARADA COM OUTRAS INDÚSTRIAS.



FONTE: Retirado de Teicholz (2001, p. 427).

A qualidade da informação não apresenta, portanto, uma definição clara, estando bastante relacionada à percepção do usuário. A definição dos parâmetros necessários para uma informação depende de quem a recebe e do uso que será dado àquela informação. Neste contexto, é essencial que o usuário compreenda qual a fonte e qual a finalidade da informação que recebe. Conhecendo o fluxo da informação, a probabilidade de encontrar qualidade para a informação solicitada amplia-se e o processo de tomada de decisão torna-se mais seguro.

FIGURA 4 - VALOR AGREGADO POR EMPREGADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO EUA



Fonte: NSPE (2014).

Na seção seguinte será abordada a gestão de projetos, pelo viés da indústria da construção.

2.2 GESTÃO DE PROJETOS

O projeto de obras civis pode ser definido como o processo que, por meio de dados de entrada (a necessidade dos clientes), traduzidos em parâmetros que balizam todo seu desenvolvimento, deve apresentar ao final um produto que traga soluções para essas necessidades. Conforme a NBR 13.531 (ABNT, 1995, p.4), projeto é “a representação das informações técnicas da edificação e de seus elementos, instalações e componentes”. A representação dessas características não deve, portanto, deixar margens para suposições e ambiguidades, já que esse conjunto de informações servirá de base para a tomada de diversas decisões.

O processo de projeto tradicional na indústria da construção passa por etapas progressivas, em que a liberdade de decisão entre alternativas vai sendo gradativamente substituída pelo detalhamento das soluções adotadas. Melhado (1994) divide essas etapas em: Idealização do Produto, Concepção Inicial, Análise de Viabilidade, Análise dos Processos, Formalização do Produto, Detalhamento de Produto e Processo e o Planejamento. Estas etapas somadas às de Produção, Entrega do Produto e a Operação e Manutenção, compõe o Processo de Desenvolvimento do Produto.

De acordo com Melhado (2005) o processo de projeto tradicional segmenta as diversas disciplinas que geram um produto final, onde os agentes produtores trabalham apenas dentro de suas respectivas especialidades, não atentando para a visão macro do desenvolvimento do produto e seus impactos nas diversas disciplinas, resultando um produto final com baixa qualidade. Para Mikaldo Jr. (2006), um dos principais motivos que fizeram surgir a necessidade de compatibilizar projetos, foi a separação conceitual entre as atividades de projeto e de execução ao longo das últimas décadas. O (QUADRO 1) representa as etapas do processo de projeto, incluindo etapas de compatibilização, segundo Mikaldo.

QUADRO 1 - ETAPAS DO PROCESSO DE PROJETO

Etapas do Processo de Projeto
Intenção – Cliente
Levantamentos
Diretrizes
Estudo de Viabilidade
Estudo Preliminar
1ª Compatibilização
Anteprojeto
2ª Compatibilização
Projeto Legal
3ª Compatibilização
Projeto Executivo
Revisão Final - Obra

FONTE: Adaptado de Mikaldo Jr. (2006).

A compatibilização de projetos é uma alternativa para se resolver parte dos erros originados na etapa de projeto das edificações. Busca-se integrar os projetos das diferentes disciplinas, visando o perfeito ajuste entre os mesmos. O objetivo é minimizar os conflitos existentes, simplificando a execução, otimizando e racionalizando os materiais, o tempo, a mão de obra e a manutenção (CALLEGARI, 2007).

O processo mais comum para compatibilização é a sobreposição de pranchas dos desenhos em duas dimensões, seja através das pranchas impressas ou virtuais, em desenhos de *Computer Aided Design* (CAD). Além de desgastante e dos possíveis

erros humanos, esse processo pode ignorar interferências que só aparecem em vistas tridimensionais. A compatibilização de projetos através da superposição de plantas em 2D tem fortes limitações, principalmente entre as interfaces dos projetos hidrossanitários e elétricos, devido à dificuldade de visualização de tubos e eletrodutos, fazendo com que sejam detectadas apenas as incompatibilidades mais evidentes (SOUSA, 2010). Este processo, muitas vezes, negligencia outros aspectos que devem ser levados em consideração, como a verificação do atendimento aos requisitos do cliente, as metas financeiras e de prazo do empreendimento. É evidente, no entanto, que a experiência da equipe envolvida no processo de compatibilização será determinante na qualidade obtida.

Para gerenciar este e os demais processos do desenvolvimento do produto, garantindo a qualidade das informações, o coordenador de projetos deve possuir um amplo conhecimento multidisciplinar (incluindo produto e produção), elevada capacidade de gerenciar o processo e integrar profissionais das equipes de projeto e seus trabalhos (MELHADO, 2005).

Em meio a este cenário a tecnologia denominada *Building Information Modeling* (BIM) ou, em português, Modelagem da Informação da Construção, propõe um desenvolvimento integrado e colaborativo do projeto, com a modelagem parametrizada das soluções, visando aumentar a qualidade da solução final e centralizando as informações no modelo, que se torna, então, o banco de dados do empreendimento. Na seção seguinte será abordada esta tecnologia.

2.3 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Na literatura de construção é possível identificar diferentes nomenclaturas associadas ao Projeto do Sistema de Produção (PSP) ou, em inglês, *Production System Design*, sendo a principal delas o termo *Work Structuring* (BALLARD, 2001b). Há ainda processos que são associados ao PSP, como a programação por fases (*phase scheduling*), ou que incluem o PSP dentro de suas etapas, como a Preparação para Execução de Obras (ARROTÉIA; AMARAL; MELHADO, 2014).

Visando aprofundar os conhecimentos sobre o tema através da literatura específica, o autor da presente pesquisa realizou uma revisão sistemática da literatura, que será descrita e terá seus resultados apresentados a seguir. Nessa

revisão buscou-se identificar modelos de processo de desenvolvimento do PSP e o fluxo de informações relacionado, assim como salientar a importância do tema. A pesquisa restringe-se ao tema PSP para empreendimentos de construção civil e foram considerados apenas resultados referentes aos artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Espera-se, também, identificar fontes clássicas do tema, mesmo que, não associadas diretamente à construção civil.

2.3.1 Definições de PSP

As primeiras definições a respeito deste tema em construção civil remetem ao *Lean Construction Institute* (LCI), que associou este processo ao *Lean Construction* e o *Lean Project Delivery System* (BALLARD, 2008). Segundo Ballard (1999), os princípios associados ao *Work Structuring* são: minimizar e gerenciar a variabilidade; integrar os projetos de produto e processo; e estruturar o fluxo de trabalho entre equipes. Busca, portanto, o desenvolvimento do projeto (empreendimento) alinhando o projeto de engenharia com a cadeia de suprimentos, alocação de recursos, tecnologias e processos de montagem ou manufatura. O objetivo é tornar o fluxo de trabalho mais confiável e rápido, enquanto entrega o valor esperado para o cliente (Howell e Ballard 1999; Tsao *et al.* 2000).

O PSP integra as diversas informações que envolvem um projeto e busca alinhá-las. Desta forma, ele se estende desde a organização global e interesses da empresa/cliente, até as operações, definindo os papéis de cada agente nos processos envolvidos. De forma diferente dos processos tradicionais, focados em dividir o trabalho sem agregar uma visão holística do projeto e da interdependência entre estas partes então divididas. Desta forma, o PSP provê melhores condições para controle do sistema e das operações, assim como para a melhoria destes, já que usualmente o projeto de engenharia é desenvolvido com pouca ou nenhuma consideração do projeto de operações e, desta forma, torna-se ineficiente (TSAO *et al.* 2000).

Segundo Schramm (2004), o PSP consiste no processo de análise e discussão de alternativas para a organização do sistema de produção, e na escolha da alternativa mais adequada, isto é, que entregue maior valor ao cliente, dentro das condições específicas do projeto. Com isso pretende-se antecipar as decisões relacionadas ao sistema de produção, reduzindo a incerteza e a variabilidade, visando garantir que possam ser operacionalizadas.

De acordo com Ballard (1999) e Tsao *et al.* (2000), o Planejamento do Sistema de produção envolve determinar:

- i. Quais partes/pacotes do trabalho serão designadas aos especialistas?
- ii. Como as partes do trabalho serão sequenciadas?
- iii. Como o trabalho será liberado de uma parte para a próxima?
- iv. Há a necessidade de separar ou juntar partes do trabalho? E de *buffers*?
- v. Quais partes serão unidas ou separadas, em que momento e qual seu tamanho? Onde existirão *buffers* e qual seu tamanho?

É necessário para isso um conjunto de informações que deverão ser consideradas nas decisões do PSP, gerando também novas informações e protocolos para as equipes de produção (Ballard *et al.* 2001a; 2001b). Howell e Ballard (1999) elencam algumas questões que devem ser consideradas no PSP:

- O projeto do produto em si;
- Tecnologias e equipamentos disponíveis;
- Leiaute do canteiro e sua logística;
- O tamanho dos pacotes de trabalho;
- Potenciais fatores externos que podem influenciar o trabalho (climáticos, legais, etc.)
- Segurança;
- A experiência e habilidades esperadas para as equipes e seus supervisores;

Os dois principais objetivos da Construção Enxuta são maximizar o valor e reduzir os desperdícios. Visando o atingimento destes objetivos, durante o desenvolvimento do PSP, Ballard *et al.* (2001) faz as seguintes orientações:

- Maximizar o Valor:
 - Entregar produtos que cumpram com as expectativas do cliente:
 - Estruturar o trabalho de forma a gerar valor;
 - Entender, criticar e expandir as expectativas do cliente;
 - Aumentar o controle do sistema.
 - Entregar projetos no tempo/Reduzir o tempo de ciclo:
 - Minimizar interrupções na produção;
 - Oferecer respostas rápidas às interrupções.
- Minimizar os desperdícios:
 - Reduzir produtos com defeitos:

- Buscar fornecedores que garantam a qualidade e entregas no tempo adequado;
- Aumentar a qualidade dos produtos intermediários, através da consideração da interdependência dos mesmos.
- Criar fluxos de materiais e informações, reduzindo tempos de ciclo:
 - Estruturar o trabalho visando o fluxo;
 - Controlar o trabalho visando o fluxo;
 - Reduzir inventários;
 - Reduzir o tempo de inspeção;
 - Reduzir o tempo de processamento;
 - Reduzir retrabalhos;
 - Reduzir o tempo que materiais e informações gastam se movendo e não sendo processados;
- Conseguir mais com menos:
 - Aumentar a capacidade de produção;
 - Reduzir o custo de aquisição de recursos, materiais e informação;
 - Reduzir o custo para utilização de materiais e informação.

O mesmo autor faz uma observação de que como prioridade, a geração de valor para o cliente deve vir à frente da redução do desperdício e minimização de falhas.

Schramm (2009) elenca quatro funções básicas do PSP: (a) promover discussões e questionamentos acerca das características do sistema de produção do empreendimento; (b) incentivar a adoção de uma visão sistêmica, uma vez as decisões devem ser tomadas avaliando-se suas implicações em todo o projeto e seu sistema de produção, além de ressaltar a importância de se envolver agentes de todas as esferas atuantes no projeto; (c) sistematizar, formalizar e registrar decisões, tendo em vista que muitas das decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento do PSP não são novidades para os envolvidos, no entanto, em muitas vezes essas decisões não são adequadamente formalizadas; e (d) estabelecer um estado futuro a ser alcançado, pois entende-se que um dos produtos do PSP é um plano de longo prazo para o empreendimento que inclui uma série de diretrizes acerca de como o sistema de produção deve ser organizado e gerenciado.

A análise realizada até aqui teve o objetivo de identificar as principais características e funções do PSP. Na seção seguinte será abordado o escopo de decisões do PSP.

2.3.2 Escopo de Decisões do PSP

Para que sejam atingidos os benefícios esperados, as decisões do PSP devem considerar toda a cadeia produtiva e seus fornecedores. Howell e Ballard (1999) consideram parte essencial do processo entender e simplificar os fluxos associados a esses fatores. Devido à natureza interativa da estruturação do trabalho, torna-se necessário, portanto, envolver neste processo todos agentes de projeto, incluindo o próprio cliente do empreendimento, projetistas, suprimentos, planejadores, execução e montagem. Caso contrário, corre-se o risco de se perder conhecimentos valiosos sobre habilidades, capacidade/disponibilidade, fabricação e montagem, entre outros.

Rodrigues (2006) identificou cinco questões associadas ao escopo de decisões do PSP, são elas: Capacidade produtiva, nível de integração vertical e relação com fornecedores, arranjo físico ou leiaute, fluxos e sincronia da produção e o projeto de processos. O (QUADRO 2) define de forma resumida as principais decisões associadas a cada um desses fatores.

Na seção seguinte será explorado o fluxo de informações associado ao desenvolvimento do PSP e os modelos identificados para realização deste processo, que servirão de base para que sejam adaptados ao contexto da presente pesquisa.

QUADRO 2 - ESCOPO DE DECISÕES DO PSP

Tipo de decisão	Definição
Capacidade produtiva	Determinar a capacidade efetiva das operações produtivas de forma que ela possa responder à demanda. Pode ser dividida nos níveis estratégico, tático e operacional. Os principais fatores que influenciam são: tamanho da unidade produtiva, composição dos produtos ou serviços, natureza do processo, fatores humanos (habilidades) e fatores externos.
Nível de integração vertical	Relacionada à estratégia de gestão da cadeia de suprimentos das empresas, ou seja, como as empresas estabelecem parcerias com fornecedores e clientes, quais materiais ou processos serão executados pela empresa ou adquiridos de fornecedores externos, a gestão dos fluxos

Tipo de decisão	Definição
	dos produtos e informações, desde as atividades básicas, até a entrega do produto. Pode impactar na qualidade, agilidade, confiabilidade, flexibilidade e custos do produto final. Quanto maior a verticalização, maior a necessidade de sistemas complexos de planejamento, coordenação e controle das operações. É esperado que o quanto antes sejam envolvidos os fornecedores no processo de desenvolvimento do produto, maior deverá ser sua colaboração para o desenvolvimento de soluções realistas.
Leiaute	Está relacionado com a disposição física dos processos, o espaço necessário para a operação dos mesmos e para as funções de apoio. É influenciado principalmente pelo espaço disponível e natureza dos materiais e processos envolvidos.
Fluxos e sincronia da produção	A filosofia enxuta de produção prevê a adoção, sempre que possível, de fluxos contínuos, que pode ser definida como a produção e movimentação de um item (ou pequenos lotes) por vez, continuamente, realizando-se em cada etapa apenas o que é necessário para a etapa seguinte. As principais variáveis envolvidas são: <i>takt time</i> , <i>lead time</i> e tempo de ciclo. A obtenção de dados confiáveis associados a essas variáveis é essencial para a obtenção de fluxos confiáveis, assim como, a elaboração de leiautes que favoreçam o fluxo e a redução da parcela de atividades que não agregam valor. A rapidez e precisão com que fluem esses dados pode oferecer maior autonomia para as equipes. É importante que gargalos sejam identificados o mais breve possível.
Projeto de processos	Deve determinar os meios específicos a serem usados pelas forças operacionais para alcançar as metas do produto. É bastante influenciado pelas questões anteriores, sendo associado às definições de: disposição e sequência de atividades de obras e frentes de serviço, uso de equipamentos, tecnologias e processos empregados, arranjo físico do canteiro e sua evolução durante a obra, dentre outros fatores vinculados às características e recursos da empresa construtora.

FONTE: Elaborado a partir de Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006).

2.3.3 Fluxo de Informações no PSP

As diferentes decisões associadas ao processo de desenvolvimento do PSP envolvem, por sua vez, um fluxo de informações complexo. Para que sejam tomadas as decisões necessárias, permitindo que os objetivos do desenvolvimento deste plano sejam atingidos, é necessário coletar diversas informações dos agentes envolvidos e, se possível, considerar dados históricos. O (QUADRO 3) apresenta os principais elementos de entrada e saída, assim como as decisões do PSP associadas. Este quadro não foi desenvolvido visando diretamente o PSP para construção civil, mas de

forma generalista para indústrias manufatura, sendo assim, é importante considerar que os termos utilizados são gerais, mas se aplicam também à construção.

QUADRO 3 - ELEMENTOS DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

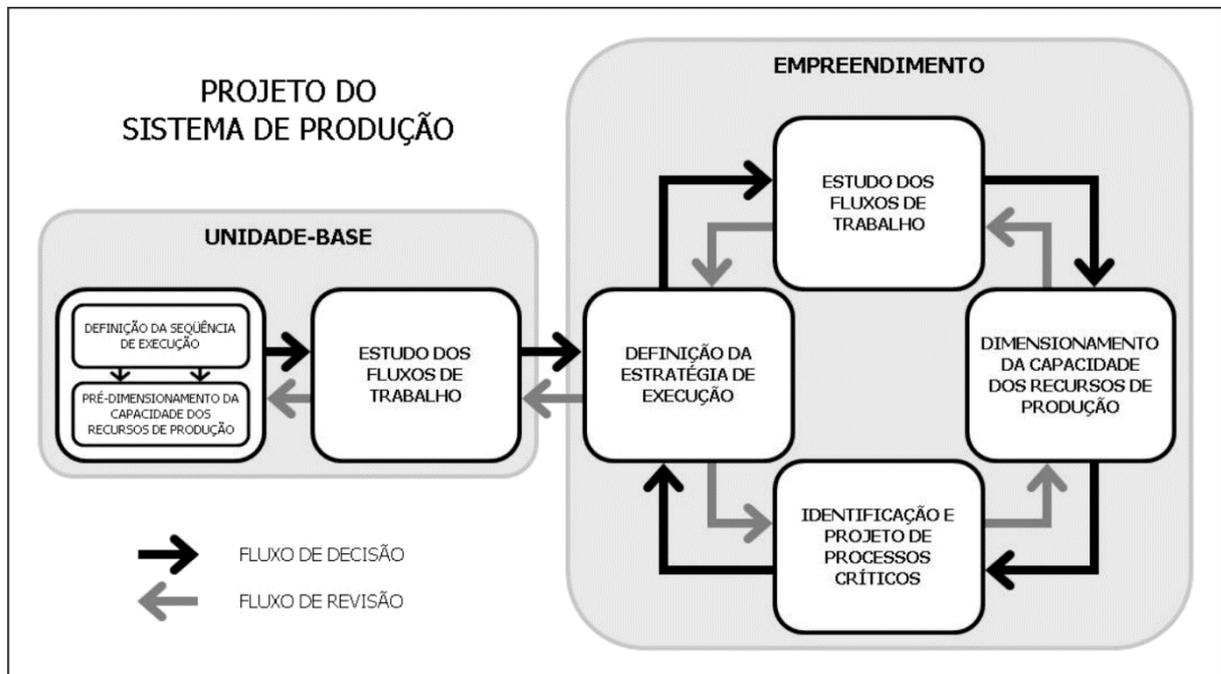
Entradas	Projeto do Sistema de Produção	Saídas
Informações sobre Produtos	Escolha do Tipo de Processo	Processos Tecnológicos
Demanda	Coordenado com Estratégias	Projeto de Processos Específicos
Preços / Volumes	Estudos da Integração Vertical	Ligações entre Processos
Padrões	Capacidade do Fornecedor	Facilidades
Ambiente Competitivo	Decisões de Aquisição	Projeto de Construções
Desejos / Necessidades do Consumidor	Decisões sobre Fazer ou Comprar	Leiaute das Instalações
Características do Produto	Estudo do Processo / Produto	Escolha de Equipamentos
Informações sobre o Sistema de Produção	Passos Tecnológicos Principais	Estimativas de Pessoal
Disponibilidade de Recursos	Passos Tecnológicos Secundários	Requisitos do Nível de Habilidades
Aspectos Econômicos da Produção	Simplificação do Produto	Número de Empregados
Tecnologias Conhecidas	Padronização do Produto	Treinamento
Tecnologias que podem ser adquiridas	Projeto do Produto para Produtividade	Requisitos de Supervisão
Potencialidades Predominantes	Estudos do Equipamento	
Fragilidade	Nível de Automação	
Estratégia de Operações	Ligações entre Máquinas	
Estratégia de Posicionamento	Escolha do Equipamento	
Armas Competitivas Necessárias	Ferramentaria	
Foco das Fábricas	Estudos dos Procedimentos de Produção	
Alocação de Recursos	Sequência de Produção	
	Especificações de Materiais	
	Necessidades de Pessoal	
	Estudos das Instalações	
	Projeto de Construção	
	Leiaute das Instalações	

FONTE: Adaptado de Schramm (2004).

Visando o desenvolvimento do PSP para empreendimentos habitacionais de interesse social em larga escala, Schramm (2004) desenvolveu uma série de seis etapas, não necessariamente sequenciais, que tratam do escopo de decisões do PSP, representadas na (FIGURA 5). Estas etapas foram agrupadas de acordo com a unidade a qual dizem respeito: a unidade-base, que se refere a uma unidade repetitiva, podendo ser um apartamento, uma residência, um pavimento, etc. a depender das características do empreendimento; ou ao próprio empreendimento como um todo. De acordo com o referido modelo “as decisões são interconectadas e

o processo de tomada de decisão é iterativo, ou seja decisões à jusante podem alterar decisões tomadas à montante” (SCHRAMM, 2009).

FIGURA 5 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP EM EHS



FONTE: Schramm (2004).

Em cada uma dessas etapas há uma série de outras definições importantes que devem ser tomadas. Na definição da sequência de execução e pré-dimensionamento da capacidade de recursos, por exemplo, são critérios básicos: o nível de integração vertical e a seleção das tecnologias a serem empregadas. Dados históricos e a experiência da equipe de produção são também fontes importantes de informação. O autor sugere o desenvolvimento de uma planilha com as seguintes informações básicas: (a) identificação de cada atividade; (b) recursos necessários, em termos de mão-de-obra e equipamentos; (c) tempo de ciclo, ou seja, o tempo de conclusão de uma unidade repetitiva; (d) tamanho do lote de transferência, relacionado ao lote que será executado pela equipe de cada vez, antes desta se mover para a execução do próximo lote; e (e) atividades precedentes à execução da atividade em questão, podendo também, esta última, ser representada através de um diagrama de precedências.

No estudo dos fluxos de trabalho na unidade-base as decisões da etapa anterior são estruturadas em consonância à visão de fluxo (KOSKELA, 2000). Nesta

etapa a utilização da técnica da Linha de Balanço pode ser bastante útil, principalmente na identificação de possíveis interferências entre as equipes.

Na definição da estratégia de execução do empreendimento deve ser estabelecido o plano de ataque. Nesta etapa são, geralmente, simuladas e analisadas diferentes estratégias de execução, buscando-se observar: (a) seu impacto no prazo final de execução; (b) capacidade dos fornecedores de suprimento; (c) gargalos e limites da capacidade produtiva; e (d) viabilidade financeira da alternativa. Uma observação importante feita por Schramm é que apesar da escolha da alternativa que esteja aparentemente mais adequada ao empreendimento, as demais não devem ser totalmente descartadas, podendo ser úteis caso haja algum problema com a estratégia adotada.

O estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento deve determinar o número de frentes de trabalho que serão abertas e, a partir da análise dos fluxos de trabalho na unidade-base, os ritmos de execução dos vários processos. É importante a sincronização dos recursos de produção que serão compartilhados, como guias e cremalheiras, ou mesmo recursos humanos. A linha de balanço também pode ser utilizada nesta etapa, assim como, recomenda-se a utilização do diagrama de sincronia.

No dimensionamento da capacidade dos recursos de produção deve ser verificada a capacidade de atendimento às estratégias estabelecidas no pré-dimensionamento, a partir das definições realizadas nas etapas seguintes, considerando as múltiplas frentes de serviço que podem ter sido definidas.

Apesar de que todos os processos devem ser considerados com máxima atenção, existem aqueles que podem desestruturar toda a estratégia adotada, os chamados processos críticos. Esta etapa, identificação e projeto dos processos críticos, visa identifica-los e buscar formas de minimizar possíveis efeitos negativos que poderiam ser causados a todo o sistema de produção, caso haja uma interrupção nestes processos. Algumas ferramentas destacadas por Schramm, para uso nesta etapa são: (a) estudo de leiaute e capacidade do processo; (b) planilha de definição da sequência de execução do processo; e (c) planilha de avaliação de capacidade versus demanda. Adotar fluxos e ritmos puxados pelas necessidades da atividade crítica é também recomendado.

Com base em Schramm (2004), Rodrigues (2006) desenvolveu um modelo para desenvolvimento do PSP no contexto de projetos complexos, isto é, projetos não

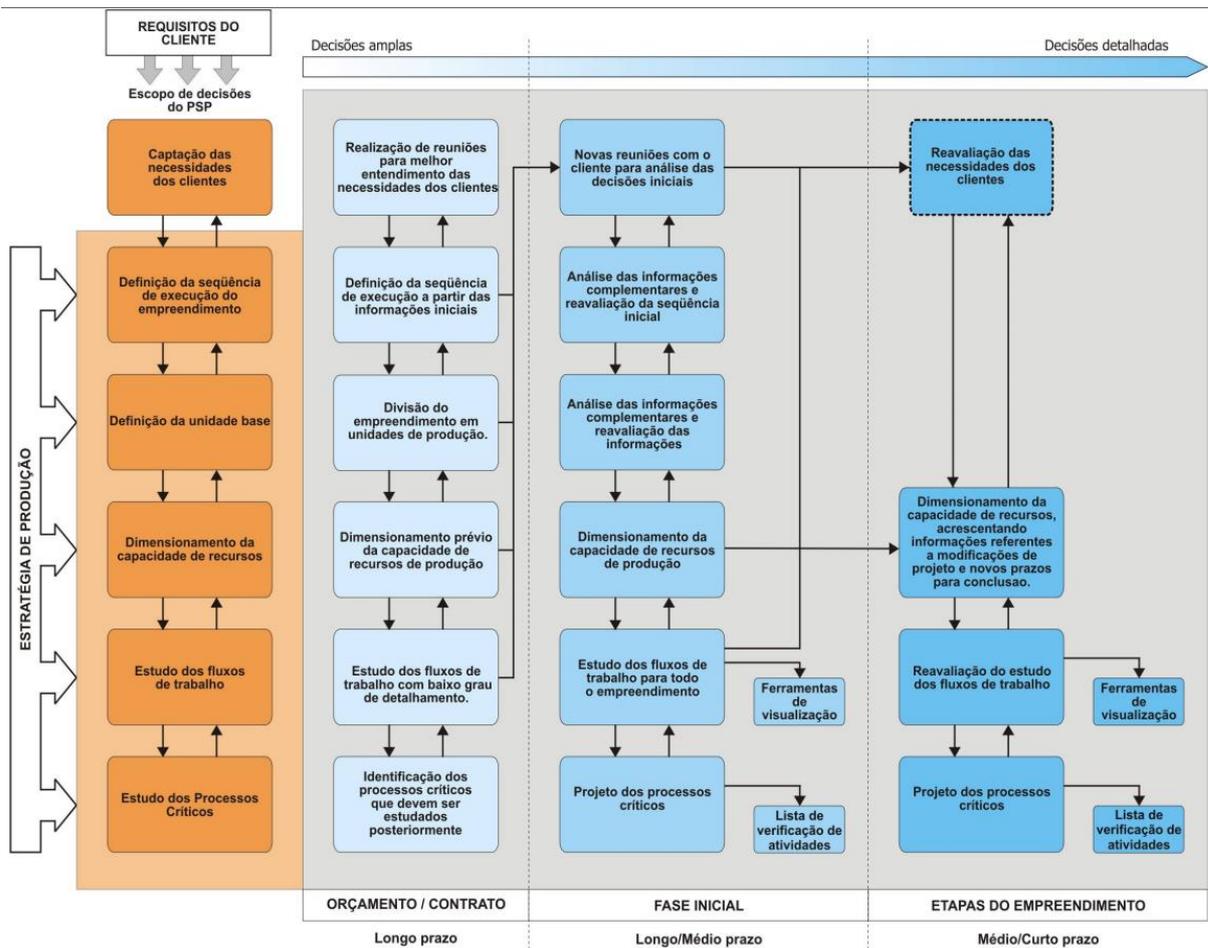
repetitivos e com elevado número de elementos diferentes que o constituem. A (FIGURA 6) apresenta o modelo desenvolvido pela autora.

O modelo pode ser entendido como uma versão aprofundada da versão previamente desenvolvida por Schramm (2004), dada as dificuldades enfrentadas no contexto de empreendimentos complexos. Há uma maior importância neste modelo à captação das necessidades dos clientes, assim como, é proposto que as decisões sejam aprofundadas a partir da redução das imprecisões inerentes ao desenvolvimento do projeto, além da necessidade de atendimento dos requisitos do cliente, que tendem a se alterar durante o desenvolvimento do projeto.

A autora considera que os principais requisitos do cliente são: (a) de entrega (prazo); (b) de qualidade; (c) de segurança; e (d) de espaço físico. Há também uma diferença no que se refere à definição da unidade-base. Como nesta categoria de empreendimentos não há uma repetição clara de unidades, esta etapa pode gerar confusão. A recomendação é que sejam levados em consideração o grau de intensidade e complexidade dos elementos e processos que compõe os ambientes do empreendimento, exigências do cliente para cada ambiente e detalhes arquitetônicos. A partir da consideração destas questões, os espaços podem ser divididos em grupos não idênticos, mas com nível de complexidade conjunta semelhante. Desta forma são definidas as “unidades-base” do empreendimento.

Schramm (2009) realiza em sua tese de doutorado um aprofundamento dos estudos sobre PSP, aprimorando o modelo proposto em Schramm (2004) e considerando o uso de simulação computacional para o apoio à tomada de decisão no processo de desenvolvimento do PSP. O modelo de elaboração do PSP apresentado na tese, representado na (FIGURA 7), foi dividido em duas fases: a fase determinística é constituída por uma série de decisões e da inclusão de dados de entrada que orientarão o desenvolvimento do modelo de simulação, estando agrupadas em decisões relativas à unidade-base e ao empreendimento; e a fase dinâmica, onde são definidos o escopo do modelo e seu nível de detalhamento, procedendo-se a modelagem da unidade-base e do empreendimento e então são realizadas as simulações.

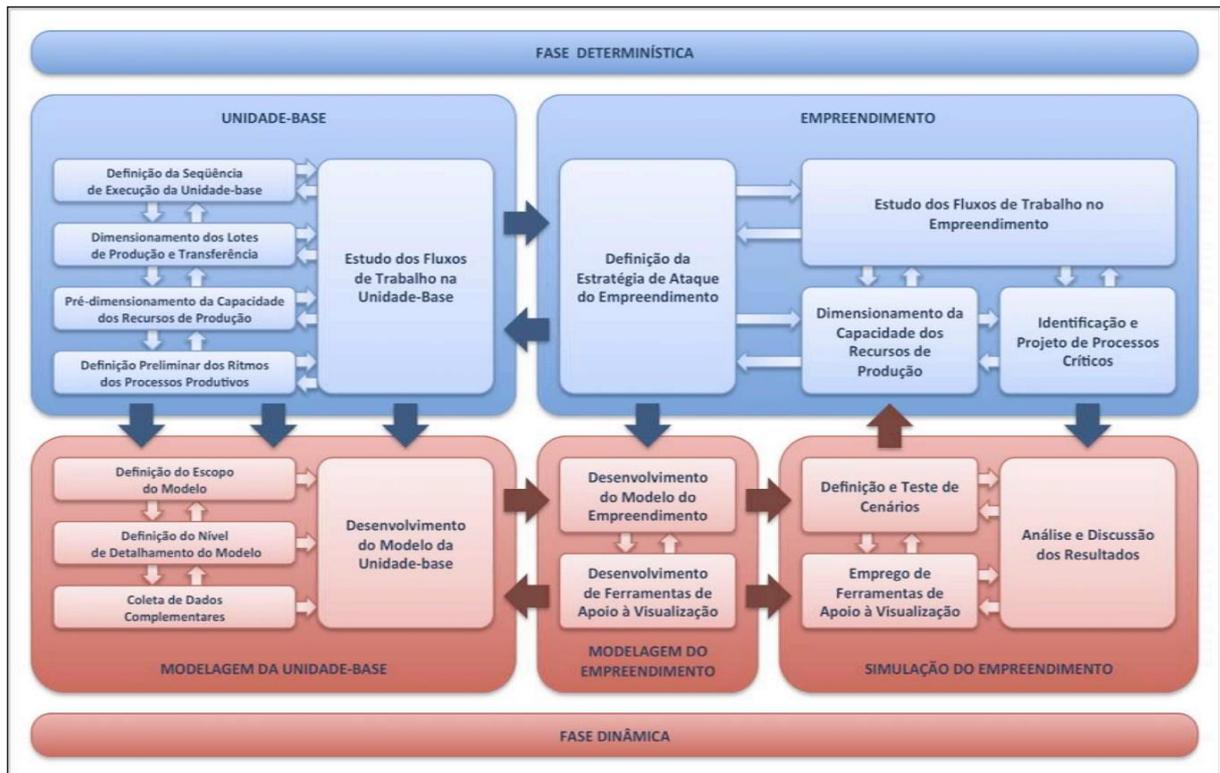
FIGURA 6 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP EM EMPREENDIMENTOS COMPLEXOS



FONTE: Rodrigues (2006).

Baseado no modelo da (FIGURA 7), Schramm (2009) propõe alguns estágios de implementação da simulação no PSP, a partir da maturidade da organização com o processo de desenvolvimento do PSP. Estes estágios serão discutidos na seção seguinte.

FIGURA 7 - MODELO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP PROPOSTO POR SCHRAMM (2009)



FONTE: Schramm (2009).

2.3.4 Estágios de implementação da simulação no PSP segundo Schramm (2009)

Segundo o autor, o estágio 1 é caracterizado pela implementação do processo de elaboração do PSP de maneira estruturada. O objetivo é demonstrar a relevância e os principais benefícios da adoção do processo em comparação às práticas anteriores na organização. Enquadra-se, portanto, para o caso de empresas que ainda não adotaram um processo formal, ou estão desenvolvendo um novo processo baseado em alguma necessidade identificada. Schramm recomenda nestes casos que seja implementado inicialmente apenas os processos relativos à fase determinística, como forma de capacitar a empresa para a realização do PSP. Contudo, caso pertinente, pode-se considerar a adoção de etapas relacionadas à simulação já nesse estágio. A (FIGURA 8) apresenta um resumo destes estágios.

FIGURA 8 - ESTÁGIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DA SIMULAÇÃO NO PSP

ESTÁGIO	CARACTERÍSTICAS	RECOMENDAÇÕES
1	<ul style="list-style-type: none"> • A empresa ainda não implementou o processo de elaboração do PSP • A tipologia do empreendimento é nova para a equipe de produção, não tendo sido ainda utilizada em nenhum empreendimento da empresa 	<ul style="list-style-type: none"> • Empregar o modelo de elaboração do PSP na sua fase determinística • Se houver intenção de replicar a tipologia, avaliar a possibilidade de desenvolver um modelo de simulação • Avaliar a possibilidade de utilizar a simulação para o estudo de processos específicos
2	<ul style="list-style-type: none"> • A empresa já tem implementado o processo de elaboração do PSP • A tipologia do empreendimento já foi utilizada em outros empreendimentos da empresa mas não há um PSP elaborado previamente • Há perspectiva de continuidade no emprego da tipologia do empreendimento em estudo 	<ul style="list-style-type: none"> • Empregar o modelo de elaboração do PSP nas suas fases determinística e estocástica • Enfatizar o estabelecimento de padrões para a seqüência construtiva das unidades-base do empreendimento • Construir (e utilizar, se possível) um modelo de simulação com vistas à reutilização
3	<ul style="list-style-type: none"> • A empresa já tem consolidado o processo de elaboração do PSP • A tipologia do empreendimento já foi empregada ou tem muitas características comuns a empreendimentos anteriores para os quais o PSP foi elaborado • Um modelo de simulação reutilizável já foi construído e testado em um empreendimento anterior 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar e adaptar as decisões do PSP na fase determinística ao novo empreendimento • Avaliar e adaptar o modelo de simulação construído anteriormente • Empregar o modelo de elaboração do PSP na sua fase dinâmica

FONTE: Schramm (2009).

O estágio 2 refere-se a organizações que já tenham conhecimento acerca do processo e há perspectiva de uso contínuo do PSP. Neste caso é recomendado o desenvolvimento do PSP considerando a criação de modelos preparados para simulações e a criação de padrões e diretrizes para tal. Os objetivos passam a ser a familiarização com o processo de simulação e a criação de bancos de dados e bibliotecas de conteúdo.

Já o estágio 3 ocorre nos casos onde o processo de elaboração do PSP já está consolidado na organização e há dados/modelos de empreendimentos anteriores disponíveis. Nestes casos é esperado que à luz destes dados as decisões sejam tomadas com maior embasamento e mais simulações considerando outros possíveis cenários sejam realizadas, de forma a otimizar o sistema produtivo do

empreendimento em questão. Ou seja, o foco aqui passa a ser na fase dinâmica do modelo proposto por Schramm (2009).

Na seção a seguir serão apresentadas as principais técnicas e ferramentas identificadas até o momento, utilizadas para o desenvolvimento do PSP, em casos registrados na literatura.

2.3.5 Técnicas e ferramentas aderentes ao PSP

Schramm, Rodrigues e Formoso (2006) recomendam o uso de ferramentas que possam dar suporte a uma redução da incerteza inerente ao processo. Considerando a necessidade de se estruturar os dados, para que esses possam favorecer o desenvolvimento do PSP e a necessidade de elaboração progressiva e contínua do mesmo, é possível vislumbrar nas tecnologias e processos BIM uma forma de promover o desenvolvimento do PSP e dar suporte a este processo.

Howell e Ballard (1999), por exemplo, recomendam a realização do *First Run Study* (FRS), que pode ser entendido como uma prototipagem física realizada antes do início da execução do empreendimento, com o objetivo de conhecer melhor e detalhar as operações que serão realizadas. Os custos associados a este tipo de prototipagem, no entanto, podem ser um fator limitante para seu desenvolvimento em muitos empreendimentos. Neste sentido, a utilização do modelo BIM para a realização desta prototipagem, em ambiente virtual, pode ser uma alternativa à prototipagem física. Nguyen, Lostuvali e Tommelein (2009) utilizaram o virtual FRS para suportar o desenvolvimento do projeto de um hospital. Segundo estes autores, o virtual FRS ajudou a integrar os projetos do produto e do processo, durante a fase de *design*. Contudo, há de se considerar que Howell e Ballard (1999) afirmam que a prototipagem virtual pode, em alguns casos, não contribuir para a análise de fatores como confiabilidade do sistema e decisões preliminares de capacidade produtiva para a execução dos serviços.

Outra técnica utilizada para a realização do PSP é a linha de balanço, aplicada por exemplo em Schramm (2004) e Rodrigues (2006). Através desta técnica é possível obter de forma gráfica as trajetórias, ritmos de produção e informações sobre a duração das atividades e seu encadeamento. Através da linha de balanço, segundo Mendes Jr. (1999), são apresentadas visualmente informações relativas à qual

recurso (equipe ou equipamento) executará que atividade, quando e onde essa atividade será executada.

Schramm (2004) utilizou também o diagrama de precedência que, segundo o autor, permitiu uma melhor visualização dos processos que compoem o sistema de produção do empreendimento, sua sequência e inter-relacionamentos. Outra ferramenta similar utilizada pelo mesmo autor foi o diagrama de sincronia.

Outra técnica recomendada por Howell e Ballard (1999) e aplicada, por exemplo, em Tuholski e Tommelein (2010), é a Design Structure Matrix (DSM). Esta técnica oferece uma maneira de representar, analisar e decompor sistemas complexos, buscando melhorar sua performance, através da antecipação e eliminação de interações não desejadas. É caracterizada pelo mapeamento de informações das relações de dependência entre processos e atividades associadas.

2.3.6 Considerações sobre o PSP

Work Structuring ou o Projeto do Sistema de Produção inclui a consideração de diversos elementos da indústria de AEC, como construtibilidade, engenharia de valor, produtividade, entre outros. Pelos processos tradicionais de desenvolvimento de projetos de construção, os agentes envolvidos raramente têm a oportunidade de planejar o sistema de produção de forma conjunta, considerando o que é melhor para todo o sistema. Desta forma o projeto se torna mais orientado ao produto específico de cada agente envolvido, do que orientado ao sistema como um todo. Negando o fato de que otimizações locais podem ser prejudiciais para a otimização global, ou sistemática (TSAO et al. 2004).

A falta de organização dos dados na indústria da construção (SCHEER et al. 2008) conduz a uma grande dificuldade em criar um aprendizado estruturado entre um projeto e outro. Se os participantes de um empreendimento tiverem acesso a informações sobre o projeto do sistema de produção usado em projetos similares, poderão utilizar esses dados como base para a melhoria do projeto de sistema de produção do empreendimento em questão (TSAO et al. 2004).

Schramm (2004) conclui que o PSP representa a atividade de organizar o sistema de produção do empreendimento para que esse possa ser adequadamente planejado e controlado, com vistas à melhoria contínua. Da mesma forma, em projetos repetitivos principalmente, através da reavaliação do PSP durante a execução do

empreendimento, pode-se buscar melhorias no projeto. Em projetos complexos o desenvolvimento do PSP promoveu planos de longo prazo mais confiáveis do que antes da aplicação deste processo (SCHRAMM et al. 2006).

Schramm, Rodrigues e Formoso (2006) fazem algumas considerações importantes sobre o processo de desenvolvimento do PSP em projetos complexos, elencando três fatores que devem ser considerados: (a) é necessário explicitamente incluir os requisitos do cliente como parte do PSP, para reduzir as incertezas; (b) o PSP deve ser desenvolvido em estágios, começando com um plano não muito detalhado, com decisões generalistas e ser gradualmente aprofundado a partir da redução das incertezas de projeto, principalmente àquelas relacionadas ao *design* do empreendimento; e (c) as reuniões de PSP devem enfatizar o desenvolvimento de parcerias com fornecedores e prestadores de serviço, de forma a garantir que os mesmos estejam comprometidos com o plano desenvolvido.

O grande volume de informações utilizadas como entrada e geradas como saídas do processo de desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção, necessita ser gerenciada de forma prática e rápida. O processo BIM, e seu produto principal o modelo BIM, sendo um agregador de informações do empreendimento, pode representar uma forma eficaz de gerenciar essas informações. Na seção seguinte, esta tecnologia será melhor explorada.

2.4 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

Do inglês *Building Information Modeling* (BIM), a Modelagem da Informação da Construção trata-se de uma mudança tecnológica e processual, que afeta todos os envolvidos em arquitetura, engenharia e construção. Trata-se de um conjunto de políticas, processos e tecnologias gerando uma metodologia para gerenciar o projeto de construção e seus dados em um formato digital, por todo o ciclo de vida da edificação (SUCCAR, 2009; PENTTILÄ, 2006). O produto da atividade é o Modelo de Informação da Construção, uma representação digital de características físicas e funcionais de uma edificação, provendo uma base de dados confiável (buildingSMART, 2010).

Segundo a *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS, 2007), BIM pode ser entendido como:

- Um processo de gestão baseado em um modelo único como base de dados, viabilizado pela tecnologia da informação.
- Uma ferramenta para simulações de desempenho, análises de custo, detecção de interferências.
- Um produto, o Modelo de Informação da Construção.

Para a buildignSMART (2010), BIM consiste na associação de IFC (*Industry Foundation Classes*), que fornece o padrão de dados do modelo; IDM (*Information Delivery Manual*), relacionada aos requisitos de informação dos processos inseridos no modelo; e IFD (*International Framework for Dictionaries*) que provê as terminologias/ontologias padrão para os elementos inseridos no modelo.

BIM se constitui em uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados que visam a produção, a comunicação e análise de modelos de construção. O BIM incorpora componentes ou objetos de informação, ali introduzidos pela equipe de colaboração do projeto, com informações necessárias para todo o ciclo de vida da edificação. Ainda, o processo BIM redistribui esforços alocando a equipe em atividades importantes de forma sequenciada (EASTMAN *et al.*, 2014).

Segundo Miettinen e Paavola (2014) é esperado que o BIM promova um aumento da colaboração interdisciplinar e interorganizacional na indústria da construção, além de promover um aumento da produtividade e qualidade do projeto, execução e manutenção das edificações.

Eastman *et al.* (2014) salienta a importância do conceito de modelagem paramétrica para se entender a diferença entre um modelo tridimensional tradicional e o modelo BIM. O mesmo autor define objetos paramétricos BIM da seguinte maneira:

- Constituído além de definições geométricas, por dados e regras associados;
- Geometria integrada, não redundante e que não permite inconsistências, como por exemplo, apresentar dimensões diferentes de um mesmo objeto em diferentes visualizações;
- As regras paramétricas devem, automaticamente, corrigir a geometria de um objeto, quando há uma modificação associada. Por exemplo, uma parede deve automaticamente preencher o local para o qual foi

designada. Ao inserir uma porta na parede, o vão deve ser aberto na parede de forma automática;

- Objetos devem ter seus parâmetros definidos em diferentes níveis de agregação, assim como seus componentes. Por exemplo, ao definir uma parede, seus subcomponentes como revestimento, tipo de blocos, espessuras, também devem ser definidos e passíveis de edição. Isso permite, por exemplo, que ao alterar o peso de um componente de uma parede, o peso total da parede deve ser alterado de forma automática;
- As regras devem identificar e coibir que objetos sejam definidos fora das especificações e requisitos em relação a tamanho, fabricação, ou quaisquer parâmetros inicialmente propostos;
- Objetos devem ter a habilidade de conectar, receber e exportar grupos de atributos, como componentes estruturais, dados sobre acústica e energia, para outras aplicações e modelos.

Outro conceito importante relacionado ao processo BIM é o Nível de Desenvolvimento do Modelo (*Level of Development*, ou *Detail*, LOD), proposto pela *American Institute of Architects* (AIA). Segundo Manzione (2013), o LOD “descreve o grau de completude para o qual um elemento do modelo é desenvolvido”. Assim como o projeto evolui conforme decisões vão sendo tomadas e detalhadas, o modelo deve seguir a mesma lógica, evitando que sejam geradas informações que em seguida serão descartadas. A definição do LOD conforme a etapa que se encontra o projeto proporciona aos membros da equipe, que entendam quais decisões devem estar tomadas em determinado momento do processo de desenvolvimento do projeto. Existem basicamente 5 níveis:

- 100 (fase conceitual);
- 200 (geometria aproximada);
- 300 (geometria precisa);
- 400 (execução ou fabricação);
- 500 (como construído).

As graduações são feitas em escalas de 100 unidades, permitindo que níveis intermediários descrevam a precisão de cada uma dessas graduações.

A modelagem em múltiplas dimensões (nD) é também uma característica dos modelos BIM. A partir do modelo tridimensional, podem ser adicionados outros dados

no modelo, que passarão a compor as múltiplas dimensões. Addor et al. (2010) descreve essas dimensões e seus respectivos usos:

- 3D – Visualização e compatibilização de elementos físicos;
- 4D – Cronograma e sequência de execução da obra;
- 5D – Estimativa de custos/orçamento;
- 6D – Operação e manutenção do edifício;
- nD – Etc.

O volume de dados agregados ao modelo BIM, tendo-o como principal banco de dados do empreendimento, e a possibilidade da geração de novas informações a partir de ferramentas relacionadas com o processo BIM, permitem alcançar um grande número de benefícios. A próxima seção irá tratar destas questões.

2.4.1 Aplicações e Benefícios e Dificuldades relacionadas ao Processo BIM

Há na literatura diversos autores que propõe aplicações para o BIM, benefícios e que apontam potenciais melhorias de processos, através de seu uso. Eastman et al. (2014) divide as aplicações e benefícios pelas fases que compõe o ciclo de vida dos projetos:

- Concepção do projeto: Estudo aprimorado de conceitos e viabilidade;
- Projeto: Visualização antecipada e mais precisa do projeto, correções automáticas no modelo das alterações de projeto, geração automática de desenhos, maior facilidade de colaboração entre os agentes de projeto, extração automática de quantitativos e estimativas de custos, verificação automatizada de requisitos do projeto (*code checking*) e suporte à realização de análises energéticas e de sustentabilidade;
- Execução: Uso do modelo como base para elementos pré-fabricados, reação rápida a mudanças no projeto, descoberta de erros e omissões antes da execução, sincronização com o planejamento (4D), sincronização das compras com o planejamento, maior facilidade para a implementação de técnicas de construção enxuta;
- Operação: Processo de comissionamento e entrega facilitados, maior facilidade de operação e manutenção da edificação, podendo o modelo BIM ser integrado aos sistemas de controle.

O (QUADRO 4) relaciona os principais usos do BIM.

QUADRO 4 - PRINCIPAIS USOS DO BIM

Projeto	Visualização	Projetos com visualização em 3D
		Controle de ciclos de revisões
		Documentação e detalhamento
		Escaneamento de edifícios com raio laser
		Fotogrametria
		Representação realística
		Realidade virtual
		Realidade aumentada
	Análise	Verificações de requisitos de normas
		Estimativas de custo
		Análises estruturais por elementos finitos
		Simulação de fogo e fumaça
		Análises de luminotecnica
		Levantamentos quantitativos
		Análises de implantação no terreno
		Estudos de radiação solar
		Coordenação espacial e análise de interferências
		Análise estrutural
		Análises de sustentabilidade
Análises energéticas		
Análises térmicas		
Estudos do impacto do vento		
Construção	Execução	Construtibilidade
		Construção virtual
		Segurança do trabalho
		Especificações da construção
		Projeto de sistemas construtivos
		Tecnologias móveis para uso no canteiro
		Planejamento e controle da produção
		Licitações e contratações
	Pré-fabricação	Estruturas metálicas
		Estruturas em concreto pré-moldado
	Aquisição	Coordenação dos suprimentos
		Preparação de pacotes de compras

Operação	Gerenciamento	Rastreamento dos ativos
		Manutenção dos ativos
		Monitoramento de ativos por GPS
		Gerenciamento dos espaços
		Gerenciamento de reformas
	Simulação	Gestão dos sistemas
		Planejamento para situações de emergência
		Análises do consumo energético
		Rastreamento da ocupação
Otimização de processos	<i>Lean construction</i>	
	Gestão da cadeia de suprimentos	
	Gestão do conhecimento	
	Análises de valor	
	Melhoria do processo de comunicação	

FONTE: Manzione (2013).

Segundo Azhar (2011) alguns dos principais benefícios que espera-se obter com estas aplicações são: Processo mais rápidos e eficientes, graças a facilidade em se partilhar informações com qualidade; maior qualidade dos projetos, obtida através de análises mais rigorosas de performance e promovendo soluções inovadoras; maior controle sobre custos por todo ciclo de vida do empreendimento; execução aprimorada, facilitada por projetos mais ricos em detalhes; maior possibilidade de automação; melhor atendimento aos requisitos dos clientes; controle mais eficiente da operação através de dados de todo o ciclo de vida da edificação, facilitando projetos de renovação da edificação.

Bryde, Broquetas e Volm (2013) analisaram os principais benefícios obtidos com a utilização do processo BIM. Segundo estes autores o fator custo foi o mais positivamente influenciado, seguido por tempo, comunicação, melhorias na coordenação e qualidade. Seus estudos indicaram que os benefícios obtidos são muito mais relevantes que as perdas identificadas, que estão associadas principalmente aos desafios da implementação e a problemas pontuais com *software* ou *hardware*. A seguir serão discutidas as principais dificuldades associadas ao processo BIM.

Conforme relatado nas seções anteriores, a indústria da construção possui fluxos de informação precários e outros fatores que interferem na gestão da

informação. Devido a isso, adoção da tecnologia e processos BIM enfrenta uma série de barreiras, dentre as quais se resumem em barreiras técnicas e gerenciais. Para que BIM seja viável, é necessário implantar processos bem definidos que busquem eliminar problemas com interoperabilidade; estratégias práticas e eficientes para a troca e integração de informações relevantes a respeito do projeto e padronização eficaz para essas informações. A deficiente padronização e comunicação do processo de projeto e gestão na indústria dificulta a adoção de BIM (AZHAR, 2011; ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

A despeito da necessidade emergente em se resolver questões de interoperabilidade e da criação de padrões universais, que viabilizem o trabalho colaborativo, sem que softwares ou as diferentes nomenclaturas utilizadas para os mesmos elementos dependendo da região onde se encontram, representem um entrave para a utilização da tecnologia, ainda são muitas as dificuldades encontradas pelos usuários nestes aspectos, o que limita algumas possibilidades de uso da tecnologia (IBRAHIM, 2013).

A principal dificuldade relacionada ao processo BIM, no entanto, conforme afirmam Bryde, Broquetas e Volm (2013) refere-se às questões relacionadas às pessoas. A profunda mudança cultural promovida pelo processo BIM gera, muitas vezes, aversão daqueles que não estão dispostos a mudar sua maneira de trabalhar. Para que o uso do BIM atinja todo seu potencial é necessário que os profissionais se adaptem e adotem práticas favoráveis ao processo BIM.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve o método de pesquisa utilizado para a realização do trabalho. Será descrita a abordagem metodológica e estratégia utilizada em seu desenvolvimento. Serão demonstrados todo o processo de pesquisa bem como a descrição das etapas, métodos e técnicas utilizadas para coleta e interpretação dos dados.

3.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa trata de processos associados a gestão de empreendimentos de construção civil, apoiada pela utilização de tecnologias da informação e comunicação, mais especificamente, àquelas associadas aos processos BIM. Visa propor diretrizes para o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção no contexto da Modelagem da Informação da Construção (BIM). Através destas diretrizes espera-se fornecer uma estrutura de discussão e debate do tema, para estudantes e profissionais que atuam na área (YIN, 2001). Desta forma, pode ser considerada uma pesquisa de natureza aplicada, que utiliza a abordagem qualitativa para tratar de objetivos exploratórios. Adotou-se, neste contexto, como método de pesquisa o estudo de caso (MIGUEL et al., 2010; GIL, 2002).

Em pesquisas qualitativas o pesquisador geralmente visita a organização estudada para coletar dados e a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos é considerada relevante, contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa (MIGUEL et al., 2010). De acordo com Gil (2002), pesquisas exploratórias tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, visando torna-lo mais explícito ou construir hipóteses. Para isso, na maioria dos casos, envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiência prática com o problema estudado; e (c) análise de exemplos que “estimulem a compreensão”.

Esta pesquisa foi desenvolvida em duas etapas que abrangeram este escopo sugerido em Gil (2002): a primeira etapa, exploratória, está constituída pelo levantamento bibliográfico, seleção da organização que foi objeto deste estudo e posterior coleta de dados através de entrevistas e análises de documentos; a segunda etapa, de desenvolvimento, compreendeu uma análise das interações entre o PSP e o BIM e de seu potencial teórico de apoiar o desenvolvimento do PSP. Em seguida é

apresentado um diagnóstico da empresa estudada e um relatório com as diretrizes propostas para o caso.

3.2 VALIDADE DO TRABALHO

Um trabalho de pesquisa deve demonstrar que as operações do estudo podem ser repetidas e que serão obtidos resultados semelhantes, como forma de prover confiabilidade à mesma (YIN, 2001). Ainda, segundo Lukka (2001), os resultados e evidências devem ser relacionados a teoria existente. Os testes de validade são uma forma de atingir estas características.

3.2.1 Validade Externa

Através do levantamento bibliográfico foi possível identificar modelos para aplicação do PSP e as características, como definição e escopo, deste processo. Até o momento não foram identificadas pesquisas que propusessem um modelo específico para o caso estudado e nem com a utilização explícita de modelos BIM, no entanto, há semelhanças com os modelos encontrados, permitindo uma adaptação para a presente pesquisa. Esta adaptação está embasada na revisão literária e validada através de entrevistas com os profissionais responsáveis pela atividade na empresa estudada. Foram obtidas diretrizes para o desenvolvimento do PSP no contexto do caso de estudo e fazendo uso do processo BIM. Estas diretrizes deverão poder ser aplicáveis a quaisquer empreendimentos e sistemas de produção similares.

3.2.2 Validade Do Constructo

O modelo de desenvolvimento do PSP utilizado nesta pesquisa é adaptado de modelos existentes identificados através da revisão bibliográfica. Esta revisão permitiu obter definições conceituais e operacionais dos principais termos, ferramentas e demais variáveis associadas ao escopo desta pesquisa. Para aumentar a validade do constructo foram realizadas entrevistas com agentes envolvidos no processo de desenvolvimento do PSP. Outras estratégias que foram utilizadas são a análise documentos e a coleta de dados através da observação direta do pesquisador em casos práticos.

3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa está dividida em duas etapas: (i) etapa exploratória; e (ii) etapa de desenvolvimento.

A etapa exploratória é constituída, principalmente, pelo levantamento bibliográfico que fornece embasamento teórico para o restante da pesquisa. A busca incluiu pesquisas nacionais e estrangeiras que estavam indexadas nas principais bases disponíveis, como *Science Direct*, *Scopus*, *SciELO*, *Web of Science*, *Google Acadêmico* e *Periódicos (Capes)*. Foram consultadas revistas, anais de eventos, dissertações e teses, ainda, sempre que necessário, a consulta se estendeu a livros que tratam dos temas relacionados a esta pesquisa. Os principais temas das buscas são o PSP e o processo BIM.

Para atender aos objetivos desta pesquisa, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), ou Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; KITCHENHAM, 2004) sobre o PSP buscando as definições deste processo, o escopo de decisões envolvido, modelos práticos para seu desenvolvimento e ferramentas utilizáveis. Foi também realizado um levantamento bibliográfico sobre o processo BIM, onde foram buscadas por definições, aplicações e ferramentas associadas ao BIM, benefícios e dificuldades relacionadas à adoção deste processo. Paralelamente à revisão da literatura foi definida a organização que se tornou objeto do estudo de caso, aqui denominada empresa Alfa.

A partir dos dados levantados com a revisão da literatura foi definido o modelo para desenvolvimento do PSP e o protocolo de coleta de dados, através da identificação do escopo de decisões do PSP. A validação destes elementos ocorreu através de entrevistas com profissionais responsáveis pelo desenvolvimento do PSP na organização estudada. Foi também identificado o processo de desenvolvimento de projetos e do PSP nesta organização, incluindo o escopo de decisões associado. Desta forma constitui-se o modelo de desenvolvimento do PSP na empresa Alfa.

A segunda etapa, de desenvolvimento, é constituída por uma análise dos dados obtidos na etapa anterior, onde foram identificadas as sinergias com o processo BIM. Foram analisadas quais das aplicações e ferramentas BIM identificadas na etapa exploratória poderão ser utilizadas no processo de desenvolvimento do PSP e de que forma. Esta análise do potencial de aplicação do BIM no PSP pode em seguida prover

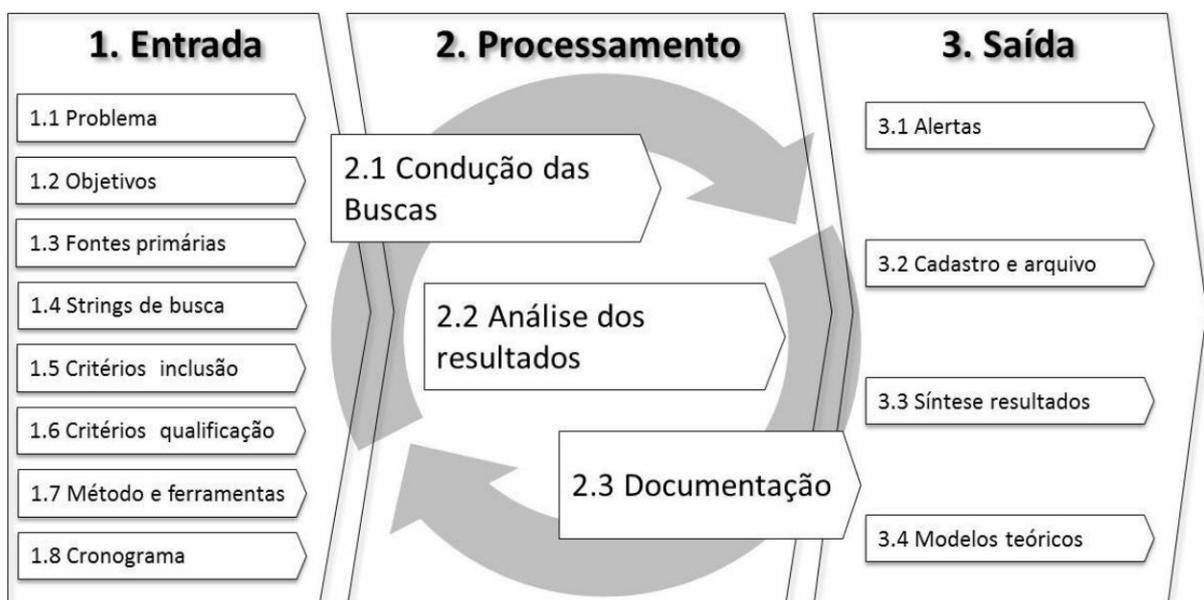
a base para o desenvolvimento das diretrizes para a empresa Alfa realizar o PSP com a aplicação de ferramentas e processos relacionados ao BIM suportando a tomada de decisão e promovendo a colaboração entre os agentes envolvidos no projeto.

3.3.1 Etapa Exploratória

Os principais objetivos desta etapa foram: (a) obter o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa; (b) definir o método da mesma; (c) definir a organização que seria estudada; (d) obter o modelo de desenvolvimento do PSP utilizado como base para adaptação ao contexto em que está inserida a presente pesquisa; e (e) definir o fluxo de informações associado ao desenvolvimento do PSP.

Para o levantamento do referencial teórico acerca do PSP foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), ou Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) que é uma forma de identificar, avaliar e interpretar as pesquisas existentes, relevantes à uma questão de pesquisa, tópico ou fenômeno de interesse (KITCHENHAM, 2004). Tratando-se de uma pesquisa associada a área de “gerenciamento de projetos”, foi utilizado como referência o *RBS Roadmap*, apresentado em Conforto, Amaral e Silva (2011) como modelo para o desenvolvimento deste levantamento. A (FIGURA 9) ilustra o modelo adotado e em seguida são descritas estas fases e etapas no contexto da presente pesquisa.

FIGURA 9 - MODELO PARA A CONDUÇÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA



FONTE: Conforto, Amaral e Silva (2011).

1. ENTRADA

- 1.1. Problema: Quais são as características do Projeto do Sistema de Produção? Quais os requisitos de informação associados? Qual o fluxo de informações neste processo? Qual o escopo de decisões?
- 1.2. Objetivos: Identificar as características e a relevância do PSP para empreendimentos de construção civil. Identificar o fluxo da informação e os requisitos da mesma neste processo, assim como o escopo de decisões envolvido.
- 1.3. Fontes Primárias: As principais fontes primárias foram obtidas através de uma revisão bibliográfica preliminar e tratam-se de três dissertações de mestrado realizadas por alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da UFRGS e publicadas em 2004, 2006 e 2012 intituladas, respectivamente “O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social” (SCHRAMM, 2004), “O Projeto do Sistema de Produção no Contexto de Obras Complexas” (RODRIGUES, 2006) e “Método de Gestão da Produção na Construção Civil com Uso da Modelagem BIM 4D” (BIOTTO, 2012).
- 1.4. *Strings* de busca: Foram desenvolvidas a partir do levantamento de termos associados ao PSP, realizado nas fontes primárias. As palavras-chave utilizadas na revisão sistemática foram variações (plural/sinônimos/inglês) dos termos:
 - a) Projeto do Sistema de Produção (Manufatura, *Design of Production System*);
 - b) Planejamento do Sistema de Produção;
 - c) Estruturação do Trabalho (*Work Structuring*);
 - d) Projeto do Processo;
 - e) Programação por fases (*Phase Scheduling*);
 - f) Preparação da Execução de Obras.

Estes termos foram buscados sempre de forma exata, ou seja, as palavras deveriam aparecer exatamente na ordem pesquisada. Além disso foram sempre associados, através da utilização do conector “E” (*AND*) com a palavra Construção (*Construction*). Além disso, excluíram-se da pesquisa revistas que tratavam de temas incompatíveis com esta pesquisa, como revistas

relacionadas às ciências médicas. Mantiveram-se aquelas que tratassem basicamente de construção civil, engenharia de produção e gestão de projetos.

1.5. Critérios de Inclusão: Como as pesquisas preliminares indicaram que haviam poucos estudos publicados no assunto, foram incluídos trabalhos que apresentassem as palavras-chave em qualquer campo: título, resumo, assunto, etc.

1.6. Critérios de Qualificação: Não foram adotados.

1.7. Método e Ferramentas: Foram utilizadas quatro bases de dados, que estão entre as mais conhecidas e com maior número de revistas indexadas: Capes (Periódicos), *Science Direct*, *Web of Science* e *Scopus*. Inicialmente foram consideradas a utilização das bases *Scielo* e *Blackwell Synergy (Wiley)*, no entanto em uma análise preliminar percebeu-se que seus resultados já se encontravam indexados nas bases anteriores e então foram descartadas. A pesquisa sistemática constitui-se em seis fases:

- a) Definição do método e das palavras-chave;
- b) Pesquisa com as palavras-chave do item 1.4;
- c) Análise dos títulos como critério preliminar;
- d) Análise dos resumos como segundo critério;
- e) Análise do conteúdo e levantamento de fontes primárias citadas no material selecionado;
- f) Análise dos resultados e documentação.

1.8. Cronograma: Não foi definido de forma sistemática.

2. PROCESSAMENTO

O processamento dos dados ocorreu segundo o método descrito no item 1.7 e será detalhado a seguir. A partir das palavras-chave identificadas na pesquisa preliminar iniciou-se a pesquisa sistemática com a definição do método a ser utilizado, embasado na literatura específica (KITCHENHAM, 2004; CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; MUIANGA; GRANJA; RUIZ, 2015).

As buscas nas bases de dados foram então a primeira etapa definida no método e resultaram num total inicial de 175 trabalhos. Em seguida foram analisados os títulos dessas publicações, buscando identificar aquelas que não se enquadravam no tema em questão. Títulos que deixavam em dúvida sobre o valor de seu conteúdo para esta pesquisa foram mantidos. Excluiu-se apenas aqueles que o autor julgou

sem dúvidas irrelevantes para os objetivos deste levantamento. Esta etapa resultou em 107 exclusões, restando 68 trabalhos para a fase seguinte.

A análise de resumos seguiu o mesmo critério da análise dos títulos, mantendo aqueles que não deixavam claro que não seriam úteis para os fins deste trabalho. Basicamente buscou-se entender em que contexto estavam inseridas as palavras-chave, ou termos a elas associados, visando excluir aqueles não alinhados com os objetivos desta pesquisa. Resultou em mais 26 exclusões, sobrando 42 trabalhos para a análise seguinte, incluindo as fontes primárias (descritas em 1.3 na página 54). A (TABELA 1) apresenta um resumo destes dados.

TABELA 1 - PALAVRAS-CHAVE, FILTRAGENS E NÚMERO RESULTANTE DE TRABALHOS

Base	Total Inicial	Filtro	Qtd.	Análise Títulos	Análise Resumos	Total Final
Capes	32	Projeto do Sistema de Produção	3	3	3	8
		Estruturação do Trabalho	15	0	-	
		Projeto do Processo	2	1	1	
		Design of Production System	1	1	1	
		Work Structuring	8	7	2	
		Phase Scheduling	3	2	1	
Science Direct	88	Projeto do Sistema de Produção	1	0	-	2
		Estruturação do Trabalho	2	0	-	
		Projeto do Processo	9	0	-	
		Design of Production System	32	5	0	
		Work Structuring	26	7	2	
		Phase Scheduling	18	3	0	
Web of Science	7	Preparação da Execução de Obras	1	1	1	3
		Design of Production System	2	0	-	
		Work Structuring	4	3	2	
Scopus	48	Work Structuring	28	22	20	29
		Design of Production System	9	6	4	
		Phase Scheduling	11	7	5	
TOTAL	175	-	175	68	42	42

FONTE: O autor (2016).

Na etapa seguinte (item 1.7.e da página 55), foram analisadas a introdução e as conclusões dos 42 trabalhos resultantes dos filtros anteriores. Buscou-se identificar aqueles trabalhos que pudessem contribuir para o atingimento dos objetivos descritos no item 1.2 da página 54. Dos 42 trabalhos, não foi possível obter acesso a 5 deles. Os demais foram classificados em 3 níveis: Irrelevantes para os objetivos, pouco relevantes e relevantes. Foram considerados relevantes aqueles que contribuíam de forma objetiva para a teoria do tema estudado ou apresentassem estudos de caso

com conclusões significativas para estes mesmos objetivos. Os trabalhos que tratassem do tema, mas não contribuíam de forma direta para os objetivos da presente pesquisa, com base na análise de suas introduções e conclusões/resultados, foram considerados pouco relevantes, sendo estes deixados em segundo plano e seriam avaliados na íntegra apenas se os resultados relevantes não fossem julgados suficientes para a compreensão do tema estudado. Finalmente, foram considerados irrelevantes os que tratavam do tema apenas de forma superficial.

Os resultados estão descritos na (TABELA 2) a seguir. Foram, ainda, identificadas 4 referências dos 24 trabalhos relevantes ou pouco relevantes que poderiam contribuir para esta revisão, no processo conhecido como “bola de neve” (*Snowball*). Estes foram identificados como sendo as principais fontes clássicas do tema, sendo citados na maioria das pesquisas.

TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONTEÚDO

Número de trabalhos				
Relevantes	Pouco Rel.	Irrelevantes	Sem acesso	Bola de Neve
15	9	13	5	4

FONTE: O autor (2016).

O (QUADRO 5) lista os dezenove trabalhos considerados relevantes aos objetivos desta pesquisa, sendo composta pelos quinze trabalhos obtidos pelas ferramentas de busca utilizadas na RSL e os quatro obtidos pelo processo de “bola de neve”.

A análise das publicações do (QUADRO 5) permitiu o atingimento do objetivo (a) desta pesquisa, com a identificação do escopo de decisões do PSP e a obtenção do modelo base. Foram identificados três modelos, propostos por Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006). Os modelos de Schramm foram desenvolvidos visando empreendimentos habitacionais de interesse social (EHIS), sendo que Schramm (2009) trata-se de uma adaptação do modelo propostos em Schramm (2004) considerando o desenvolvimento de modelos de simulação da edificação para o apoio à tomada de decisão no processo de PSP. Já o modelo de Rodrigues (2006) é focado no caso de empreendimentos complexos.

QUADRO 5 - TRABALHOS RELEVANTES

Base	Título	Tipo	Ano
CAPEL	O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social	Dissertação	2004
CAPEL	Work structuring to achieve integrated product-process design	Artigo	2004
CAPEL	O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas	Dissertação	2006
CAPEL	Projeto de sistemas de produção na construção civil utilizando simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão	Tese	2009
Scopus	Case Study for Work Structuring: Installation of Metal Door Frames	Artigo	2000
Scopus	Production System Design in Construction	Artigo	2001
Scopus	An Update on Last Planner	Artigo	2003
Scopus	Creating Work Structuring Transparency in Curtain Wall Design	Artigo	2004
Scopus	Reducing Schedule in Repetitive Construction Projects	Artigo	2004
Scopus	The Design of Production Systems for Low-Income Housing Projects	Artigo	2004
Scopus	The Role of Production System Design in the Management of Complex Projects	Artigo	2006
Scopus	Tolerance considerations in work structuring	Artigo	2007
Scopus	Decision analysis using virtual first-run study of a viscous damping wall system	Artigo	2009
Scopus	Construction crew design guidelines: A lean approach	Artigo	2012
Web of Science	Gestão de projetos e sua interface com o canteiro de obras sob a ótica da Preparação da Execução de Obras	Artigo	2014
Snowball	Work Structuring	White Paper	1999
Snowball	Design of Construction Operations	White Paper	1999
Snowball	Lean project delivery system	White Paper	2000
Snowball	Production system design: Work structuring revisited	White Paper	2001

FONTE: O autor (2016).

Os modelos foram analisados e optou-se pela utilização das etapas sugeridas em Schramm (2004) como orientação para o desenvolvimento das diretrizes que são objetivo desta pesquisa. Foram, contudo, levadas em consideração as orientações propostas por Rodrigues (2006), que também utiliza as mesmas etapas sugeridas por Schramm (2004).

A abordagem de Rodrigues (2006) é mais abrangente em relação à evolução do PSP durante o desenvolvimento do empreendimento, pelo fato de ter sido desenvolvida visando empreendimentos complexos. No modelo da (FIGURA 6) é demonstrado o aumento do nível de detalhes e do escopo das decisões entre as etapas de desenvolvimento do empreendimento, o que sugere um aumento gradual da colaboração entre os agentes de projeto, conforme a necessidade de aprofundamento das decisões. Esta característica é almejada na presente pesquisa e por isso a relevância também de Rodrigues (2006) para este trabalho.

Os modelos de Schramm (2004; 2009) (FIGURAS 5 e 7) tratam de edificações com maior grau de repetição. Esta é uma característica presente também nos projetos desenvolvidos pela Construtora Alfa no período em que foi realizada a pesquisa. Em Schramm (2009) são utilizados modelos de simulação do empreendimento para o desenvolvimento do PSP. Desta forma, suas considerações sobre o processo também são importantes para os objetivos desta pesquisa.

A partir deste embasamento teórico, foi desenvolvido o protocolo de coleta de dados apresentado no (QUADRO 6). A coluna “Etapas” representa as seis etapas definidas no modelo da (FIGURA 8) propostas por Schramm (2004). O “Escopo associado” trata-se dos principais escopos de decisões, apresentados no (QUADRO 2), que influenciam ou são influenciados em cada etapa. Já as “Questões” representam algumas questões sugeridas, que devem ser respondidas em cada etapa, para cada escopo de decisões. Esta relação entre as etapas, seus escopos e as questões associadas foi definida pelo autor com base em sua compreensão e conhecimento desenvolvidos através da revisão da literatura.

A validação deste protocolo ocorreu com a realização de entrevistas com profissionais que atuam no desenvolvimento do PSP na organização que foi objeto de estudo nesta pesquisa. Buscou-se para esta etapa do estudo uma empresa que já tivesse incluído o BIM em seus processos, detendo algum conhecimento prático da tecnologia. Da mesma forma, foram escolhidos para o estudo casos de projetos que já aplicavam os processos BIM adotados pela empresa, neste caso, todos empreendimentos residenciais de múltiplos pavimentos. Na seção 3.4 há uma descrição da empresa que estudada, bem como da empresa que prestou serviço de assessoria para adoção dos processos BIM (empresa Beta), atuando diretamente no processo de planejamento dos empreendimentos estudados.

Foram realizadas entrevistas com dois profissionais responsáveis pelo desenvolvimento do PSP na organização. Uma com um agente da empresa Alfa responsável pelo planejamento dos empreendimentos da empresa e outra com um agente da empresa Beta, que auxiliou no planejamento dos casos estudados, a partir do serviço prestado de utilização de um processo BIM para o desenvolvimento dos projetos (DURANTE, 2015). Nas entrevistas foi avaliada a pertinência da relação estabelecida no protocolo de coleta de dados (QUADRO 6). Foram também coletados dados através da análise de documentos relativos aos projetos desenvolvidos em parceria pelas duas empresas.

QUADRO 6 - PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Etapas segundo Schramm(2004)	Escopo associado	Questões
Captação das Necessidades dos Clientes	Capacidade Produtiva	Quais os prazos e recursos necessários para cada cliente interno? Qual será a capacidade produtiva em diferentes cenários?
	Nível de Integração Vertical	Como as necessidades podem influenciar no nível de integração necessário?
	Leiaute	Qual a necessidade de espaço?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Como deve ser o fluxo? Quais as predecessoras?
	Projeto de Processos	Quais as tecnologias necessárias, ou adequadas? Quais recursos são necessários?
Definição da Sequência de Execução do Empreendimento	Capacidade Produtiva	Qual a capacidade necessária para a(s) possível(íveis) sequência(s)
	Nível de Integração Vertical	Qual será o nível de integração necessário?
	Leiaute	Qual esquema de leiaute é necessário? Quais as implicações no leiaute global do canteiro?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Qual a interdependência entre as atividades?
Definição da Unidade Base	Capacidade Produtiva	Qual será o tamanho dos lotes de produção? Qual a capacidade necessária para esses lotes?
	Leiaute	Como será distribuído o espaço nestas unidades? Serão iguais para todas atividades?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Como será o fluxo e sincronismo de atividades na unidade?
Dimensionamento da Capacidade de Recursos	Capacidade Produtiva	Como as demais definições influenciam na capacidade de recursos/produção necessária?
	Nível de Integração Vertical	Para atingir a capacidade necessária, será preciso terceirizar atividades? Quais? Quanto?
	Projeto de Processos	Qual a capacidade de recursos necessária para cada alternativa? Quais as tecnologias e processos adequados?
Estudo dos Fluxos de Trabalho	Leiaute	Qual leiaute favorece mais o fluxo de trabalho? De que forma? Como ele evoluirá com o andamento da obra?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Quais os possíveis fluxos de trabalho? Qual o ritmo necessário para cada proposta?
	Projeto de Processos	Como serão dispostas e sequenciadas as atividades e frentes de serviço?
Estudo dos Processos Críticos	Nível de Integração Vertical	Será necessário terceirizar os serviços dos processos críticos? Há capacidade interna para realiza-los?
	Fluxos e Sincronia da Produção	Como os processos críticos influenciam o fluxo? Quais os impactos no fluxo, caso haja algum problema com um processo crítico?
	Projeto de Processos	Qual projeto de processo pode assegurar a realização dos processos críticos conforme necessário?

FONTE: O autor (2016).

As entrevistas foram conduzidas de forma semiestruturada e tomaram o protocolo de coleta de dados como orientação. O protocolo foi então validado de acordo com a avaliação da descrição do processo e das decisões tomadas pelos agentes entrevistados. Da mesma forma obteve-se o procedimento utilizado para desenvolvimento de projetos de maneira geral e especificamente do PSP na empresa que é objeto deste estudo. Estes processos são apresentados nas seções 5.1 e 5.2.

Com o modelo de desenvolvimento do PSP definido, a relação estabelecida no protocolo de coleta de dados validada e com as informações obtidas nas entrevistas relativas ao processo de desenvolvimento do PSP na empresa Alfa, ficou definido o fluxo de informações deste processo. Em posse destes dados e através da análise dos mesmos, foi iniciada a etapa seguinte, de desenvolvimento.

3.3.2 Etapa de Desenvolvimento

Nesta etapa os principais objetivos incluíam: (a) analisar os dados obtidos na etapa anterior, de forma a identificar as sinergias entre o PSP e o BIM; (b) averiguar quais métodos, técnicas e ferramentas relacionadas ao processo BIM podem suportar o processo de desenvolvimento do PSP e de que forma; (c) identificar quais dados seriam necessários, ou adequados, para o desenvolvimento de cada etapa do processo; (d) realizar um diagnóstico do processo de desenvolvimento do PSP atualmente realizado na empresa Alfa; (e) desenvolver diretrizes para a empresa Alfa realizar o PSP com a aplicação de ferramentas e processos relacionados ao BIM suportando a tomada de decisão e promovendo a colaboração entre os agentes envolvidos no projeto; e (f) analisar quais os potenciais benefícios e dificuldades relacionados a este processo sugerido.

À luz da literatura e pela experiência do pesquisador, que atuou profissionalmente na empresa Beta, foi desenvolvida uma matriz de interações entre os princípios do PSP e as funcionalidades BIM, apresentada na seção 4.1. Esta matriz tem o intuito de estabelecer a relação entre tais processos, provendo também embasamento para o estabelecimento das diretrizes que são objetivo desta pesquisa.

A partir da análise e avaliação desta matriz, da literatura consultada e da consideração da prática realizada na empresa estudada foi realizada uma análise do potencial teórico de aplicação do BIM no desenvolvimento do PSP, apresentada na seção 4.2. Considerando as etapas sugeridas nos modelos propostos por Schramm

(2004; 2009) e Rodrigues (2006), foram identificadas possíveis aplicações do BIM em cada etapa de desenvolvimento do PSP. Considerou-se que estas etapas podem ocorrer de maneira simultânea e cíclica, além de evoluírem em termos de volume e precisão de dados e informações, conforme o andamento do projeto. Com base no (QUADRO 3) foram também sugeridos os tipos de dados adequados a cada etapa.

Em seguida foi realizado um diagnóstico do processo de desenvolvimento do PSP na empresa Alfa, comparando-o com os modelos identificados na literatura específica. Este diagnóstico é apresentado na seção 5.3 desta pesquisa. Através destas informações e dos conhecimentos obtidos pelo pesquisador com a revisão bibliográfica, tanto em relação ao PSP como em relação ao processo BIM e às técnicas e ferramentas relacionadas, foram propostas diretrizes para a adoção de um processo de desenvolvimento do PSP apoiado pelo BIM na empresa Alfa. Estas diretrizes estão descritas na seção 5.4.

As diretrizes foram desenvolvidas visando especialmente empreendimentos residenciais, conforme os casos avaliados na empresa estudada. No entanto, considerando que os modelos utilizados como base para esta pesquisa foram desenvolvidos visando Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social, cuja principal característica é a repetitividade dos processos no caso de Schramm (2004; 2009), e empreendimentos complexos, isto é, sem repetição e com processos de diversas naturezas, no caso de Rodrigues (2006), o pesquisador espera que tais diretrizes possam ser replicadas para projetos de edificações em geral, ou mesmo em projetos de “obras de arte”. É evidente que novas pesquisas deverão ser realizadas para verificar a pertinência destas diretrizes para outros casos.

3.4 DESCRIÇÃO DA EMPRESA EM QUE FOI REALIZADO O ESTUDO

Os estudos foram realizados em uma empresa incorporadora e construtora de médio porte, que atua há 16 anos na região metropolitana de Curitiba-PR, tendo mais de 250 obras entregues e será aqui denominada de “Empresa Alfa”. Atua principalmente no setor residencial, mas já atuou em empreendimentos contratados nos setores industrial, comercial e hoteleiro. Conta com equipes de engenharia, arquitetura, decoração, marketing e vendas.

As obras da construtora Alfa são, em geral, gerenciadas pela própria empresa, que faz as análises de mercado, busca o terreno e contrata empreiteiras para executar os serviços da obra, geralmente por empreitada global. A empresa preza pela qualidade e busca manter uma relação duradoura com seus contratados, desta forma, consegue trabalhar com os mesmos parceiros, conhecendo afundo as qualidades e dificuldades de cada um.

A empresa possui uma equipe de gerência relativamente jovem e com espírito inovador, buscando estar sempre a par de novas tecnologias e conceitos. Dessa forma, buscou agregar o BIM aos seus processos com o objetivo principal de aumentar a qualidade de seus projetos, reduzindo incompatibilidades e erros, além de adquirir maior controle sobre as informações dos projetos. Para este fim contratou outra empresa de Curitiba, especialista em BIM, para modelar seus projetos e auxiliar na adoção de processos associados à tecnologia. Esta empresa, aqui denominada “Empresa Beta” tornou-se responsável pela modelagem 4D/5D de seus projetos, auxiliando na coordenação dos mesmos promovendo reuniões semanais com a equipe de projetistas e os gerentes da construtora Alfa, participando, ainda, da elaboração do planejamento das obras. O pesquisador também foi colaborador da empresa Beta e durante o período que atuou nesta empresa desenvolveu habilidades e conhecimento acerca do BIM que se tornaram importantes para o desenvolvimento desta pesquisa.

A escolha da empresa Alfa para este estudo se deu devido ao seu prévio envolvimento com processos BIM, já possuindo os modelos BIM de seus mais recentes projetos, assim como, pela sua constante busca por melhorias e inovações em seus processos.

4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo serão apresentados os produtos da análise da bibliografia consultada. A princípio é apresentada uma matriz de interações entre funcionalidades BIM e os princípios do PSP desenvolvida pelo pesquisador. O desenvolvimento da matriz teve como objetivo estabelecer a sinergia entre tais processos. Esta matriz permitiu que o pesquisador pudesse entender de forma mais clara quais seriam as possibilidades de aplicação do BIM no processo idealizado de desenvolvimento do PSP sugerido nos modelos de Schramm (2004; 2009) e Rodrigues (2006). Desta forma, a matriz de interações auxiliou o desenvolvimento da análise do potencial do referencial teórico de aplicações do BIM no PSP, apresentada na sequência da matriz.

4.1 MATRIZ DE INTERAÇÕES ENTRE FUNCIONALIDADES BIM E PRINCÍPIOS DO PSP

Com base na matriz de interações entre princípios *Lean Construction* e Funcionalidades BIM proposto por Sacks et al. (2009; 2010) será proposta a seguir uma matriz semelhante, mas associando BIM aos princípios do PSP ao invés do *Lean*. Esta matriz foi desenvolvida pelo autor com base nas principais características destes processos (BIM e PSP) levantadas a partir da revisão bibliográfica realizada pelo autor.

Esta matriz (FIGURA 10) irá guiar o desenvolvimento das diretrizes para o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção com uso do BIM.

Nas duas primeiras colunas foram relacionadas as principais funcionalidades do BIM identificadas na literatura consultada e na linha superior foram relacionados os princípios do PSP, também levantados pela literatura, além do *Virtual First Run Study*, processo já descrito na seção 2.3.5 e que pode ter sua aplicação facilitada com o BIM. Os espaços preenchidos na cor cinza representam possíveis interações positivas, ou seja, que se beneficiam entre si.

O desenvolvimento da matriz se deu a partir de informações obtidas na literatura, assim como, pela experiência e percepção do autor. É esperado que, a partir do aprofundamento dos estudos, esta matriz possa ser ampliada e suas interações

demonstradas através de experiências práticas. A seguir serão detalhadas as interações sugeridas na matriz, a partir dos princípios do PSP:

- Minimizar e gerenciar a variabilidade: Duas funcionalidades do BIM em específico possuem potencial de favorecer este controle. A visualização do status do processo construtivo através do modelo BIM pode ajudar a identificar possíveis situações que gerem variabilidade durante a execução, permitindo também que sejam realizados estudos e simulações através do modelo para buscar gerenciar esta variabilidade. Da mesma forma, o uso do modelo como banco de dados do projeto pode promover uma gestão da comunicação mais eficiente, com maior compreensão do projeto pelos agentes envolvidos e permitindo que quaisquer alterações sejam repassadas em tempo real.
- Integrar os projetos de produto e processo: Neste sentido as possibilidades de simulações do modelo BIM ajudam a verificar e promover essa integração, assim como, a parametrização dos modelos de acordo com as necessidades dos processos inerentes a cada elemento modelado, que permite a verificação ao atendimento destas necessidades através de softwares de análise e verificação do modelo. O envolvimento dos responsáveis pela execução e de fornecedores no desenvolvimento é também uma prática amplamente sugerida em processos BIM, o que deverá promover maior integração dos projetos do produto e dos processos associados.
- Estruturar o fluxo de trabalho entre equipes: As simulações, especialmente em 4D, e análises facilitadas pelo uso do BIM podem ajudar a alcançar este princípio do PSP. Através da visualização dos fluxos torna-se mais fácil a identificação de interferências entre esses fluxos, assim como, a utilização do BIM amplia as possibilidades de simulações de diferentes cenários e da utilização de algoritmos para definição de *designs* favoráveis ao fluxo esperado.
- Determinar a capacidade efetiva de produção: De forma semelhante à estruturação do fluxo de trabalho, as simulações realizadas sob o modelo BIM podem fornecer respostas importante no sentido de determinar a capacidade efetiva de produção em diferentes cenários. Claro que para isso são necessários também dados que forneçam o

embasamento adequado para tais simulações. Neste sentido, a utilização de processos BIM e a inserção de dados reais do canteiro de obras do projeto em andamento no modelo BIM ajuda a organizar e gerenciar estes dados para sua utilização futura.

- Determinar o arranjo físico do canteiro (leiaute) e sua evolução durante a obra: Para atingir este objetivo novamente as possibilidades de simulação e gestão da execução através do modelo e processos BIM podem ser importantes aliados. A visualização da forma permite tanto sua avaliação estética como funcional, combinada com a capacidade de se gerar múltiplas alternativas para o projeto e analisa-las de forma rápida, considerando ainda a construtibilidade, interferências e a evolução ao longo do tempo. A automatização de alguns processos de análise através de *softwares* também deverá permitir que o arranjo físico do canteiro seja determinado com uma série de informações adequadas para a tomada de decisão desta natureza, além da possibilidade de se empregarem algoritmos generativos.
- Determinar tecnologias e processos empregados: Novamente as simulações providas por ferramentas BIM podem ser importantes facilitadoras neste processo, permitindo que diversas tecnologias possam ser simuladas e avaliadas considerando sua respectiva influência em termos de construtibilidade, custos, atendimento ao programa (escopo/plano de necessidades) do projeto. A integração com fornecedores, princípio amplamente difundido para processos BIM, deverá prover a consideração de informações valiosas para o processo de tomada de decisão neste processo. Além da possibilidade de fabricação sob demanda, os fornecedores poderão disponibilizar bibliotecas e instruções de *code checking* que deverão prover uma base confiável para a tomada de decisão. A utilização do modelo como repositório de dados permite que o aprendizado adquirido com o uso de determinada tecnologia em um projeto possa ser acessado em projetos futuros, permitindo a consideração deste conhecimento na avaliação da possibilidade de emprego da tecnologia construtiva em questão.

FIGURA 10 - MATRIZ DE INTERAÇÕES ENTRE PRINCÍPIOS DO PSP E FUNCIONALIDADES BIM

Funcionalidades BIM	Princípios do PSP		Minimizar e gerenciar a variabilidade	Integrar os projetos de produto e processo	Estruturar o fluxo de trabalho entre equipes	Determinar a capacidade efetiva de produção	Determinar o arranjo físico do canteiro (leiaute) e sua evolução durante a obra	Determinar tecnologias e processos empregados	Virtual First Run Study
Visualização da forma/realidade aumentada/virtual	Estética								
	Funcional								
Rápida geração de múltiplas alternativas	Sistemas construtivos								
	Leiaute								
Análise preditiva de performance	4D								
	Construtibilidade								
Estimativa de custos automatizada									
Avaliação da conformidade com o programa									
Detecção de interferências automatizada									
Geração automatizada de pranchas e documentos									
Acesso e edição colaborativa de múltiplos usuários em um mesmo modelo	Comunicação								
	Integração com fornecedores								
Visualização do status do processo construtivo									
Modelo como banco de dados centralizado	Gestão do conhecimento								
	Gestão da comunicação								

Legenda:

Nenhuma interação positiva identificada:
 Uma ou mais possibilidades de interação:

FONTE: O autor (2015)

- Virtual First Run Study: Apesar deste não ser um princípio do PSP e sim uma técnica que auxilia o seu desenvolvimento, a maioria das funcionalidades associadas ao BIM podem ser acessadas e beneficiarem o desenvolvimento do Virtual First Run Study. Sendo assim, optou-se por dedicar um espaço na matriz para salientar a sinergia entre este e o BIM. O modelo BIM poderá ser utilizado para a realização das simulações adequadas ao Virtual First Run Study, poupando o tempo de desenvolvimento de um protótipo físico ou mesmo do desenvolvimento de um modelo virtual voltado especificamente para este fim.

4.2 ANÁLISE DO POTENCIAL DO REFERENCIAL TEÓRICO CONCEITUAL PARA APLICAÇÕES DO BIM NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP

Tomando como base as etapas previstas nos modelos de desenvolvimento do PSP propostos por Schramm (2004;2009) e Rodrigues (2006) serão propostas algumas possíveis aplicações de tecnologias e processos associados à Modelagem da Informação da Construção (BIM) que devem auxiliar o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção. A matriz apresentada na (FIGURA 10) também foi utilizada como orientação durante este processo de análise do potencial de aplicações do BIM no processo de desenvolvimento do PSP. A partir das sinergias identificadas pelo autor e apresentadas na matriz supracitada foram sugeridas as aplicações que serão apresentadas ao longo deste capítulo. Ainda, com base no (QUADRO 3) são sugeridos também alguns dados, ou tipo de dados, pertinentes a cada etapa do processo.

É importante ressaltar que a realização de um processo sistemático para desenvolvimento do PSP suportado por Tecnologias da Informação e Comunicação envolve o processamento de muitos dados. Portanto, para qualquer empresa que esteja buscando adotar tais processos é essencial a coleta e organização de dados históricos de projetos passados e também dados referentes ao projeto em questão e às suas peculiaridades. Estes dados podem ter diferentes origens a depender de sua natureza, isto é, a que elementos e processos se referem. Boa parte destes deverão ser próprios de cada organização, especialmente aqueles associados à mão-de-obra.

Sendo assim, é importante que as empresas interessadas em adotar tais processos suportados por TICs iniciem também a coletar e armazenar os dados adequados.

A partir da definição das prioridades para o PSP do projeto, ou de maneira ampla, para a organização como um todo e os vários projetos em que o processo será aplicado, podem ser definidas as principais metas a serem alcançadas com o PSP e assim se definir quais dados são importantes e em qual momento são necessários. É esperado também que com o aprendizado adquirido a cada projeto desenvolvido sejam refinadas essas diretrizes e próprio processo como um todo.

Deve-se considerar, ainda, que conforme sugerido por Schramm (2009), o modelo de simulação deverá apresentar maior nível de detalhamento conforme a etapa de desenvolvimento e maturidade do PSP do projeto. Sendo assim, sugere-se associar diretrizes relacionadas ao PSP com o LOD (nível de detalhe ou desenvolvimento) do modelo BIM, isto é, sugere-se que sejam associadas as diretrizes definidas pela organização com cada nível de detalhes do modelo, de forma a criar marcos, ou metas, para cada etapa de modelagem. Estas passam a ser as características almejadas para o modelo em cada etapa de desenvolvimento do PSP e devem ser condizentes com os objetivos de uso do modelo nesta etapa em questão. É provável que estas diretrizes, e conseqüentemente os objetivos de cada etapa do processo, sejam diferentes para cada organização ou projeto, já que as prioridades para o processo e, portanto, as informações requeridas na tomada de decisão em cada etapa tendem a diferir entre um caso e outro.

Importante ressaltar que tais sugestões foram realizadas pelo presente autor a partir da literatura consultada e da experiência do mesmo em relação à tecnologia BIM. Para confirmar ou refutar tais aplicações serão necessários estudos aprofundados com a aplicação prática destas diretrizes e avaliação dos resultados.

4.2.1 Captação das necessidades dos clientes

Durante este processo são captadas as principais características que farão parte do escopo do projeto. Os dados coletados nesta etapa irão balizar o desenvolvimento de todo o projeto e se considerados de forma adequada, devem produzir um resultado mais próximo do esperado por cada cliente, sejam eles internos ou externos. O registro dos requisitos dos clientes representa também uma forma de proteção aos gestores do projeto, que passam a ter documentos que comprovam

quais foram as exigências feitas pelos clientes inicialmente, evitando possíveis contestações futuras baseadas em exigências que não foram previamente relacionadas.

Para que tais necessidades possam ser consideradas através de aplicações BIM, recomenda-se a criação de formulários padronizados que relacionem as necessidades de cada cliente. Os formulários poderão abordar questões relacionadas ao escopo do projeto, em geral associado a necessidades dos clientes externos, e do escopo de decisões do PSP associadas a cada etapa em específico, conforme o (QUADRO 6) sugere, questões estas que estão mais relacionadas aos clientes internos. Sugere-se que durante o desenvolvimento destes formulários sejam definidas questões prioritárias, isto é, que sejam mais relevantes para a organização, seja por alguma característica do projeto ou por apresentar um histórico de dificuldades com determinada questão. Eventualmente a organização poderá criar formulários padronizados para algumas questões, enquanto outros específicos podem ser aplicados em projetos especiais.

Estes formulários devem ser convertidos em parâmetros que softwares de análise e verificação do modelo BIM, como o *Solibri Model Checker* ou similares, utilizarão para verificar o atendimento a esses requisitos (*code checking*). Portanto, a forma com que os dados são coletados deve ser coerente com a forma que serão recebidos pelo software. É comum e esperado que as necessidades dos clientes se alterem durante o desenvolvimento do projeto e a utilização de tal tecnologia pode representar uma maneira rápida de reavaliar o projeto nestes casos, bastando alterar ou inserir novos parâmetros no software que, automaticamente, irá varrer todo o projeto verificando o atendimento aos novos critérios. Isto deverá evitar que alguma necessidade de um cliente seja esquecida após uma alteração no projeto ou na equipe que nele atua.

Importante ressaltar que, no momento em que esta pesquisa foi realizada, não havia qualquer software disponível no mercado e de conhecimento do autor, que seja capaz de considerar todos os tipos de requisitos de projeto, apesar de alguns já serem capazes de considerar uma grande gama de parâmetros. É esperado que com a evolução da tecnologia se torne possível uma consideração mais ampla de requisitos.

Dados sugeridos para esta etapa: Demanda, padrões, desejos / necessidades do consumidor, características do produto, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, tecnologias que podem ser adquiridas, potencialidades

predominantes, fragilidades, estratégia de posicionamento, armas competitivas necessárias, alocação de recursos.

4.2.2 Definição da sequência de execução do empreendimento

O BIM 4D abre a possibilidade de avaliar diferentes estratégias para a sequência de execução do empreendimento de forma rápida e fácil. Torna possível também a consideração das necessidades dos clientes neste processo, como àquelas associadas ao espaço físico necessário e ao tempo em que esse espaço será utilizado em cada uma das possíveis estratégias. Isso deverá aumentar a precisão dos estudos da sequência de execução e dar mais confiabilidade às propostas, permitindo que sejam buscadas sequências otimizadas, de maneira mais fácil do que utilizando processos tradicionais sem os recursos visuais e computacionais do BIM. O estudo da sequência de execução dentro da unidade base, ou de uma unidade específica, também se torna mais prático de ser realizado, permitindo que haja também maior controle sob cada atividade específica.

Dados sugeridos para esta etapa: Demanda, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidades, alocação de recursos.

4.2.3 Definição da unidade base

Em empreendimentos complexos a definição da unidade base pode ser bastante difícil e, quando realizada, costuma ser definida com base na percepção e experiência dos responsáveis pelo processo, sem dados que deem o embasamento adequado para este processo decisório. A inserção de parâmetros relacionados ao volume de trabalho, por exemplo, no modelo BIM, pode permitir que softwares de análise do modelo facilitem a definição da unidade base, dando também o embasamento necessário para justificar a tomada de decisão. Isso pode ser obtido através do fornecimento de dados e informações adequadas para os gestores, com base no modelo do projeto e em suas diretrizes para o PSP. É evidente que para isso será necessário um banco de dados que forneça estes parâmetros. Este banco poderá ser desenvolvido pela própria organização ou mesmo fornecido por agentes do campo de políticas do BIM (SUCCAR, 2009).

Dados sugeridos para esta etapa: Volumes, padrões, características do produto, alocação de recursos.

4.2.4 Dimensionamento da capacidade de recursos

A determinação da capacidade produtiva com base em dados históricos de empreendimentos passados deverá fornecer uma base mais confiável para os estudos de dimensionamento da capacidade de recursos. Neste sentido, a inserção do BIM e outras TICs nestes processos, representam formas de organizar esses dados e mantê-los em um repositório que permita fácil recuperação dos mesmos, tornando o processo de dimensionamento menos trabalhoso e permitindo que diferentes simulações sejam realizadas de maneira fácil.

A utilização do BIM 4D/5D poderá ajudar a entender as implicações em termos de capacidade produtiva e recursos necessários para diferentes cenários e estratégias produtivas. Para que isso seja possível o modelo BIM deverá conter parâmetros em seus elementos que englobem dados como custos e capacidade de produção por unidade padrão (ex. hora/homem, m²/hora ou qualquer unidade adequada à atividade/elemento construtivo) para cada estratégia a ser analisada. Isso justifica a importância de se obter dados confiáveis, que representem da maneira mais fiel possível a realidade vivida no canteiro de obras.

As simulações deverão prover respostas rápidas para questões como: para se alcançar uma meta (de custo ou prazo, por exemplo) qual deverá ser a capacidade de recursos necessária?

Dados sugeridos para esta etapa: Demanda, preços/volumes, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidade, alocação de recursos.

4.2.5 Estudo dos fluxos de trabalho

A utilização de dados confiáveis é de suma importância para que o estudo dos fluxos de trabalho e da sincronia entre os mesmos seja realizada com sucesso. A inserção de TICs no processo de projeto da indústria da construção deverá favorecer a criação de índices baseados nos dados históricos da empresa, dando mais

confiabilidade a este processo. A introdução dos conceitos de lote de produção e lote de transferência (Schramm, 2009) e, como já foi descrito anteriormente, índices como *takt time*, tempo de ciclo e *lead time* são dados importantes neste processo. Se hoje há uma deficiência na obtenção destes dados na indústria da construção (SCHEER et al., 2008), a inserção do BIM e de outras TICs poderá melhorar esse quadro. Neste sentido, a utilização do modelo BIM como repositório de dados do projeto pode prover dados de entrada em futuros projetos.

De forma semelhante ao estudo da sequência de execução do empreendimento, o BIM 4D poderá facilitar o estudo dos fluxos de trabalho e de sua sincronia. Ferramentas BIM que gerem de forma automatizada a Linha de Balanço do empreendimento também podem ser valiosas nesta etapa.

Dados sugeridos para esta etapa: Demanda, volume, padrões, características do produto, disponibilidade de recursos, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidades, foco das fábricas, alocação de recursos.

4.2.6 Estudo dos processos críticos

A utilização do BIM em todas etapas, conforme sugerido, deverá também facilitar a identificação dos processos críticos através, principalmente, dos recursos visuais que a tecnologia oferece. Outra possibilidade é a criação de critérios, baseados nas diretrizes para o desenvolvimento do PSP ou em outras características do projeto, que identifiquem processos ou etapas críticas através dos softwares de análise do modelo.

As possibilidades de uso apontadas nas etapas anteriores podem ser aplicadas de forma mais ampla e focada nestes processos, de forma a reduzir a incerteza inerente aos mesmos. O controle desses processos considerados críticos também poderá ser feito através do modelo BIM, trazendo resposta imediata a eventuais problemas. Ainda, há a possibilidade de se gerar fichas de verificação de forma automatizada.

Dados sugeridos para esta etapa: Demanda, padrões, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, tecnologias que podem ser adquiridas, potencialidades predominantes, fragilidades, alocação de recursos.

4.3 CONSIDERAÇÕES

A inserção de processos e funcionalidades associadas à tecnologia BIM no processo de desenvolvimento do PSP deverá estabelecer um novo patamar para a qualidade do PSP na construção civil. Durante a análise do potencial de aplicação do BIM para o desenvolvimento do PSP verificou-se uma evidente sinergia entre tais processos e tecnologias associadas, apresentada de forma pragmática, especialmente, ao longo deste capítulo. É evidente que o desenvolvimento do PSP não está necessariamente atrelado ao uso do BIM, contudo, esta tecnologia deverá prover uma base mais confiável e de resposta mais rápida, para que seu desenvolvimento seja realizado com sucesso.

De forma geral, a realização do BIM envolve um grande volume de dados que são associados ao modelo, conforme demonstrado também no (QUADRO 7) que resume as principais diretrizes e os dados associados a estas. A análise realizada tornou evidente essa necessidade, também, para a realização do PSP através do BIM. Fica claro que um dos primeiros passos a serem dados no sentido de implementar o BIM para a realização do PSP, é a verificação de quais dados serão importantes para o processo dentro dos objetivos da organização para o projeto. A partir de então iniciar a coleta destes dados, armazenando-os e organizando-os de maneira que sua recuperação seja prática e condizente com a forma que serão lidos durante o processo.

A definição dos dados específicos a serem coletados dependerá das prioridades de cada organização e/ou projeto, assim como, da relação entre os diferentes agentes envolvidos. No caso da empresa Alfa há uma forte parceria estabelecida com subempreiteiros responsáveis pela execução dos serviços de construção em seus empreendimentos. Mantendo-se parceiros por longos períodos de tempo ambas organizações passam a conhecer melhor as principais características uma da outra o que pode colaborar para reduzir a variabilidade associada a realização das atividades em canteiro altamente manuais. Esta é uma característica importante no sentido de aumentar a confiabilidade dos dados associados a execução destas atividades.

QUADRO 7 - PRINCIPAIS DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DO PSP BASEADO EM PROCESSOS BIM E OS DADOS ASSOCIADOS

Diretrizes	Dados associados
Criação de formulários para captação das necessidades dos clientes visando a conversão destas necessidades em parâmetros para o desenvolvimento do modelo BIM.	Demanda, padrões, desejos / necessidades do consumidor, características do produto, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, tecnologias que podem ser adquiridas, potencialidades predominantes, fragilidades, estratégia de posicionamento, armas competitivas necessárias, alocação de recursos.
Utilização do BIM 4D para estudo das sequências executivas.	Demanda, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidades, alocação de recursos.
Definição da unidade base, ou lotes de produção, através de parâmetros do modelo BIM.	Volumes, padrões, características do produto, alocação de recursos.
Utilização do BIM 4D/5D para avaliar qual a necessidade de recursos em diferentes estratégias e cenários.	Demanda, preços/volumes, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidade, alocação de recursos.
Utilização do BIM 4D e outras técnicas suportadas por softwares BIM para a realização de estudos do fluxo de trabalho, visando sua otimização.	Demanda, volume, padrões, características do produto, disponibilidade de recursos, tecnologias conhecidas, potencialidades predominantes, fragilidades, foco das fábricas, alocação de recursos.
Aplicação de técnicas suportadas pelo BIM para estudos focados em processos críticos e nas principais dificuldades enfrentadas historicamente pela organização.	Demanda, padrões, características do produto, disponibilidade de recursos, aspectos econômicos da produção, tecnologias conhecidas, tecnologias que podem ser adquiridas, potencialidades predominantes, fragilidades, alocação de recursos.

FONTE: O autor (2016).

O desenvolvimento de forma sistemática do PSP através do BIM deverá proporcionar uma maior capacidade de controle sobre a execução das atividades em canteiro. Neste sentido, a partir do PSP desenvolvido para o projeto poderiam ser estabelecidas metas específicas para cada atividade, assim como a criação de *check-lists* conforme as características “chave” para a realização da atividade em questão. Desta forma o controle das atividades em canteiro torna-se mais prático de ser realizado. Conforme levantado nas entrevistas realizadas, a empresa Alfa, por exemplo, não tem um controle específico das atividades realizadas internamente a uma unidade, sendo verificado apenas as conclusões de pacotes amplos. Desta forma, não é definido claramente qual atividade deveria estar sendo realizada em qual

lugar específico num dado momento. Essa definição fica a cargo das equipes responsáveis pela execução, durante a execução, que eventualmente, podem definir estas sequências conforme suas necessidades e não conforme as necessidades do projeto. Outra possível consequência desta forma de trabalhar é que quando uma atividade não é completada devido a qualquer problema, não há um registro exato de qual parte específica da atividade não foi completada, tornando a medição dos serviços mais difícil de ser realizada e, eventualmente, tornando necessária a verificação de todo o pacote para se identificar qual era a atividade em aberto, no momento em que ela se trona apta à conclusão. Por exemplo, uma parede que não é rebocada devido a necessidade de fixação futura de uma tubulação que não ficará visível, mas que só pode ser realizada em um momento futuro da obra. Realizando-se um estudo 4D do projeto, com a divisão adequada das atividades, essa questão poderia ser identificada previamente e os pacotes de atividades serem estabelecidos considerando tal necessidade.

É importante considerar que análise realizada na seção 4.2 foi feita de maneira generalista, de forma que as diretrizes ali propostas poderão orientar o processo de desenvolvimento do PSP através do BIM para quaisquer organizações ou projetos que se enquadrem nas características dos modelos utilizados como base para esta pesquisa.

5 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão descritos os processos de desenvolvimento de projetos e do PSP realizados na empresa Alfa. Em seguida, comparando com as sugestões identificadas na literatura, é realizado um diagnóstico do processo de desenvolvimento do PSP na organização. A partir dessas análises, ao final do capítulo são sugeridas diretrizes para adoção do processo integrado de desenvolvimento do PSP apoiado por BIM para o caso da empresa Alfa.

Para realização deste estudo, foram entrevistados o gerente responsável pelo planejamento de obras na construtora Alfa, o engenheiro da empresa Beta que atuou no planejamento das obras da construtora supracitada e desenvolveu os modelos 5D dos empreendimentos, além da participação do pesquisador como observador durante as reuniões de projeto realizadas na empresa Beta.

A partir das entrevistas realizadas com os agentes das empresas Alfa e Beta foi possível entender como se dão os processos de desenvolvimento de projetos na empresa e também, de maneira específica, como é realizado o desenvolvimento do PSP destes projetos. Comparando estes processos com as sugestões e modelos identificados na literatura, foi possível realizar um diagnóstico do processo de desenvolvimento do PSP na organização.

O levantamento desse processo como um todo torna-se importante no contexto desta pesquisa como forma de entender em quais momentos há a realização de atividades associadas ao desenvolvimento do PSP. Também para visualizar de maneira geral o cenário em que será desenvolvido uma proposta para o uso do BIM no desenvolvimento do PSP. Neste sentido, nem todas etapas do processo de projeto da empresa Alfa são consideradas ou abrangidas pelos estudos desta pesquisa, apenas aquelas condizentes com o escopo de decisões associado ao PSP.

Considerando o diagnóstico realizado na empresa Alfa e as diretrizes apresentadas no capítulo anterior, foram desenvolvidas diretrizes específicas para a empresa Alfa. Estas diretrizes para adoção de um processo de desenvolvimento do PSP apoiado por processos BIM podem, potencialmente, servir para outras organizações de características semelhantes. Os potenciais benefícios da adoção de tal processo representam reflexões do pesquisador em relação à prática sugerida, já que não foi possível nesta pesquisa aplicar as sugestões.

5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA EMPRESA ESTUDADA

Segundo as informações obtidas através das entrevistas, os empreendimentos da construtora Alfa têm início com a definição do terreno em que o empreendimento será realizado. Em alguns casos, quando o terreno já pertence a construtora ou ao investidor que a contrata, a etapa seguinte consiste de uma pesquisa de mercado que visa identificar o tipo de empreendimento adequado à região. Em seguida é realizado o estudo arquitetônico preliminar, de acordo com a pesquisa, ou pela determinação do investidor. Com base nesse estudo realizam-se a estimativa de custo e a análise de viabilidade financeira. Caso a proposta seja aprovada, define-se o prazo para o empreendimento e o fluxo de caixa. Já nos casos onde o terreno ainda será adquirido, este processo se inicia a partir da identificação de regiões de interesse e então é realizada a pesquisa de mercado para confirmar a opção e definir o produto. As etapas seguintes ocorrem de maneira similar, com a aquisição do terreno sendo realizada a partir da captação de recursos após os estudos financeiros.

A fase seguinte consiste na definição do produto. Define-se um time de projetistas que discute as premissas do projeto de forma multidisciplinar. Esta equipe elabora o anteprojeto que então serve como base para novas discussões a respeito do produto, buscando otimizações que o tornem diferenciado na região onde será realizado e que seja coerente com as limitações de projeto. Caso o cliente já traga uma proposta de projeto, são discutidas possíveis intervenções que otimizem o produto. Em sequência os desafios do projeto são analisados para definição das metodologias construtivas que serão empregadas. Para isso, são considerados o cronograma e orçamento da obra, além de características como por exemplo: espaço disponível, tipologia das construções vizinhas, sondagem do solo, número de subsolos e de andares. Feitas estas definições, parte-se para o projeto legal e são realizadas as aprovações nos órgãos responsáveis, realizando-se eventuais adaptações e compatibilizações indicadas por esses órgãos. Os projetos passam então por uma análise crítica, verificando-se incompatibilidades restantes e então são validados para a emissão final dos projetos prontos para execução.

A etapa final é associada diretamente à execução. Com os projetos finais e metodologias construtivas previamente selecionadas, é elaborado o planejamento do canteiro de obras, onde são definidas as etapas de execução, frentes de ataque e

outras definições executivas estratégicas, considerando fatores como: número de operários máximo, atividades predecessoras, caminho crítico e gargalos. Elabora-se então o cronograma físico detalhado. Segundo o agente entrevistado da construtora Alfa, muitas vezes são elaborados dois cronogramas, um que vai para o canteiro, com prazos mais apertados, como forma de pressionar os empreiteiros contratados pela empresa Alfa a cumprirem estes prazos; e outro cronograma “de escritório” que considera eventuais contratempos. O cronograma é elaborado de acordo com a experiência dos planejadores da construtora Alfa, adquirida ao longo dos 16 anos de experiência no mercado. Em sequência são realizadas as vistorias cautelares no entorno do canteiro de obras e realizadas as contratações dos empreiteiros, de acordo com o porte da obra, cronograma e disponibilidade de mão de obra. Inicia-se a confecção das instalações provisórias e as demais atividades no canteiro. São realizadas, então, reuniões semanais com todos engenheiros e demais líderes de obra para acompanhamento e tomada de ações corretivas, sempre que necessário, em relação ao planejamento e cronograma físico, segurança no canteiro, produtividade e qualidade da execução dos serviços. Concluída a obra, procede-se às vistorias das unidades com empresa terceirizada e a limpeza final, sendo em seguida realizada a entrega ao(s) cliente(s).

5.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP NA EMPRESA ALFA

Segundo os agentes entrevistados, o Projeto do Sistema de Produção dos empreendimentos da empresa alfa é desenvolvido pelos próprios diretores da mesma, que contam com sua experiência, adquirida ao longo dos anos atuando no mercado da construção. Nos projetos mais recentes, desenvolvidos em parceria com a empresa Beta, um agente desta última passou a auxiliar no processo, fazendo uso do modelo BIM em algumas simulações simples, como na escolha de algumas tecnologias produtivas e nas estimativas de custos e prazos.

Durante a fase de *design* dos projetos, são discutidas as diferentes alternativas de tecnologias e processos construtivos a serem empregados, de acordo com as características do empreendimento, como localização, tipologia, prazos e recursos disponíveis. A experiência dos diretores da empresa Alfa é determinante nesta etapa, no entanto, há a participação dos projetistas do empreendimento e, eventualmente, do cliente, que fazem considerações acerca das diferentes possibilidades, visando

determinar aquela que melhor atenda ao projeto. Nesta etapa não há um uso direto do modelo BIM para auxiliar no processo. As considerações são feitas e as decisões são tomadas com base na experiência dos projetistas. Como a empresa Alfa possui uma relação bastante estreita com os empreiteiros responsáveis pela execução, já é de conhecimento dos diretores a capacidade de produção e as tecnologias que essas empreiteiras dominam, então, elas não costumam participar destas tomadas de decisão. Se os parceiros da empresa Alfa não dominam determinada tecnologia ou não tem a capacidade produtiva necessária, serão buscados novos parceiros para atender a demanda específica.

Ao final da etapa anterior, a maior parte das decisões já deve ter sido tomada e os projetos executivos são gerados. Algumas decisões que necessitam de um estudo mais aprofundado em relação a prazo, custos e relação com demais etapas do processo construtivo, são então simuladas, com ajuda do agente da empresa Beta, em BIM 4D e 5D. Os resultados das simulações são apresentados aos diretores da empresa Alfa, que fazem a escolha da opção que mais se adequa ao projeto. São então desenvolvidos o planejamento do empreendimento, orçamento e cronograma.

A participação da equipe de obra acontece, principalmente, no planejamento de curto e médio prazo do empreendimento, durante a execução do mesmo. Os planos previamente desenvolvidos são apresentados ao mestre de obras e encarregados, que promovem o ajuste fino, confirmando prazos e a inter-relação entre as etapas, eventualmente, sugerindo pequenas mudanças para corrigir desvios.

5.3 DIAGNÓSTICO DA EMPRESA ALFA

De acordo com as informações levantadas durante as entrevistas, a empresa Alfa apresenta um processo de desenvolvimento do projeto bem definido em linhas gerais, mas sem maiores preocupações com o detalhamento de processos específicos e sem o uso intensivo de tecnologias da informação para apoiar o processo de tomada de decisão.

Mediante as entrevistas foi possível determinar que a empresa Alfa conduz um processo relativamente simples para o desenvolvimento do PSP dos seus empreendimentos, se comparado aos modelos de processo disponíveis na literatura específica. Segundo o agente da empresa Alfa entrevistado, isso se deve ao porte e modelo de negócios conduzido. O tamanho dos empreendimentos, em geral, não

justifica o que este agente classificou como “excesso de gestão”. Ele acredita que processos muito complexos poderiam “engessar” o desenvolvimento dos projetos. Entretanto, poderá reconsiderar essa posição diante da possibilidade de atuar em empreendimentos maiores e/ou mais complexos, o que não está nos planos da empresa no momento atual do mercado.

Segundo esse agente da empresa Alfa, o processo atual da empresa tem produzido resultados considerados suficientemente positivos pela diretoria da empresa. A maneira que os processos vêm sendo conduzidos tem sido capaz de atender as metas relativas ao tempo de execução das obras e de gastos previstos. Contudo, o pesquisador observa que há espaço para melhorias nestes processos e que essas melhorias poderiam maximizar os ganhos da empresa.

O agente acredita que seus processos vêm evoluindo ao longo dos anos e que já houve um grande salto com a introdução do BIM, resultando em uma drástica redução de erros de projeto, maior acesso à informação e, conseqüentemente, maior compreensão do projeto pelos seus agentes. A adoção de processos mais abrangentes nas diversas etapas dos projetos deverá acontecer aos poucos, com o amadurecimento da tecnologia BIM e dos próprios agentes envolvidos nos projetos da empresa em relação à tecnologia.

Baseado nas informações sobre os processos da empresa Alfa, levantadas nas entrevistas realizadas pelo pesquisador, e tomando as etapas propostas nos modelos de Schramm (2004;2009) e Rodrigues (2006) como orientação, será apresentada a seguir a relação entre os processos realizados pela empresa Alfa e as etapas propostas pelos modelos supracitados.

5.3.1 Captação das necessidades dos clientes

Realizada parcialmente. Em se tratando dos clientes externos, as pesquisas de mercado servem para elucidar a escolha do tipo de empreendimento adequado para a região. Nos casos em que um cliente contrata a empresa Alfa para executar um empreendimento, são realizadas discussões com esse cliente para levantar suas necessidades em relação ao projeto, mas não há um formulário padrão para este fim. Durante a evolução do projeto o cliente costuma ser consultado, sempre que necessário, para validação das decisões tomadas.

Já em relação aos clientes internos, durante as discussões com os projetistas são discutidas as repercussões nos termos de prazo, custos, mão de obra, espaço e outros recursos necessários para a realização das diferentes alternativas de processos e tecnologias que podem ser empregadas no projeto, de forma a encontrar a que mais se adequa às características do empreendimento. No entanto, essa discussão é realizada principalmente a partir da experiência dos profissionais envolvidos e em pesquisas realizadas pelos mesmos acerca da alternativa em questão. Não há uma organização sistemática dos dados em que se baseiam para constatação das necessidades dos clientes e nem sempre são consultados os profissionais que atuarão de fato na execução.

Durante a execução são realizadas reuniões com os líderes em canteiro para discutir o andamento da obra, quando, eventualmente, são levantadas necessidades desses agentes que não haviam sido consideradas inicialmente. Estas reuniões são mediadas pelo engenheiro responsável pela execução do empreendimento que verifica a pertinência de se considerar tais necessidades e como trata-las.

5.3.2 Definição da sequência de execução do empreendimento

É realizada, principalmente, a partir da experiência dos diretores da empresa Alfa que atuam na área de planejamento de obras. Com base nas características do projeto estes agentes definem uma sequência inicial para os processos considerados críticos e dão alguma flexibilidade aos demais processos. É realizado então um estudo com BIM 4D para validação da sequência definida e, se necessário, são realizadas correções. Em geral, num primeiro momento não são discutidas questões mais específicas, como a sequência em que serão realizadas as atividades dentro de uma unidade de um apartamento por exemplo, deixando este nível de decisão para ser tomada pelos agentes em canteiro.

5.3.3 Definição da unidade base

Não foi identificada nenhuma etapa do processo desenvolvido na empresa Alfa que trate sistematicamente desta questão. Como a maioria dos empreendimentos são edifícios residenciais de múltiplos pavimentos com repetição entre as unidades, em geral, toma-se um pavimento por unidade padrão e não são considerados as

atividades em “áreas comuns” do condomínio na divisão dos lotes padrão de produção.

5.3.4 Dimensionamento da capacidade de recursos

Esta etapa é também realizada de forma parcial. Devido a estreita relação da empresa Alfa com as empreiteiras que são parceiras na execução das obras, os agentes da empresa Alfa têm conhecimento da capacidade produtiva de seus contratados e das tecnologias construtivas dominadas por estes. Desta forma, dimensionam as atividades de maneira que seus parceiros possam executá-las conforme o plano. É realizado um estudo de fluxo de caixa para adequar os prazos das atividades com os recursos financeiros disponíveis. As decisões são tomadas sem a participação destes subempreiteiros, que apenas recebem os planos e a proposta de serviço conforme as decisões da empresa Alfa. Em geral, esta forma de trabalhar tem produzido os resultados esperados, já que a empresa Alfa não costuma contar com recursos financeiros abundantes nem com prazos muito curtos, o que permite que as atividades sejam dimensionadas dentro da capacidade de seus contratados.

Como a empresa Alfa não conta com operários próprios para executar as atividades no canteiro fica a cargo dos contratados dimensionar e adequar as equipes de obra às necessidades do projeto. A empresa Alfa encarrega-se de fiscalizar o andamento das atividades e caso haja algum problema, buscar com as equipes de obra maneiras de solucionar a questão e manter a execução dentro do prazo e qualidade esperados.

5.3.5 Estudo dos fluxos de trabalho

Não é realizado de forma sistemática. Não é realizado nenhum estudo buscando manter fluxos puxados e contínuos. Cabe aos empreiteiros contratados definir como serão realizadas as atividades a partir da sequência e cronograma estabelecidos pela empresa Alfa. Sempre que houver a necessidade, o engenheiro de obras media questões relacionadas ao ritmo de produção e sincronia entre as atividades, mas não há um plano detalhado pré-estabelecido para este fim.

5.3.6 Estudo dos processos críticos

É também baseado na experiência dos projetistas e agentes da empresa Alfa. Devido ao amplo conhecimento prático dos processos que são realizados em suas obras, adquirido com os anos de experiência no mercado, os agentes da empresa Alfa acreditam saber quais atividades são críticas e qual é o caminho crítico. Quando um processo ou tecnologia que ainda não é amplamente conhecido pela empresa é inserido, são realizados estudos buscando entender melhor o funcionamento do mesmo e/ou procurados especialistas, para que eventuais dificuldades que poderão ser enfrentadas sejam previstas e consideradas nos planos. Contudo, não são realizados estudos aprofundados sobre os processos considerados críticos. Na forma que este processo vem sendo realizado na empresa Alfa, seu principal objetivo é reafirmar a importância do controle e cumprimento dos prazos destas atividades no canteiro de obras.

5.4 SUGESTÕES PARA ADOÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PSP COM USO DO BIM PELA EMPRESA ALFA.

Com base no potencial de uso do BIM no processo de desenvolvimento do PSP apresentado na seção 6.1 e no diagnóstico da empresa Alfa (seção 5.1), serão sugeridas nesta seção algumas ações adequadas para a adoção de um processo sistemático para o desenvolvimento do PSP com uso do BIM para a empresa Alfa. Como a empresa já desenvolve modelos BIM de seus empreendimentos a proposta desta seção é prover diretrizes para que esses modelos sejam desenvolvidos tendo em vista sua utilização no desenvolvimento do PSP dos projetos. No entanto, como a empresa não realiza uma coleta de dados sistemática de seus empreendimentos, parte das sugestões passam pela adoção de processos e tecnologias para a coleta destes dados. Serão também apontados alguns possíveis benefícios que podem ser alcançados através das práticas em questão.

Seguindo a lógica usada nas últimas seções, as sugestões serão divididas pelas etapas sugeridas nos modelos de desenvolvimento do PSP utilizados como base nesta pesquisa.

5.4.1 Captação das necessidades dos clientes

Esta etapa, em especial, exige uma ampla variedade de dados, que tratem desde as necessidades dos clientes internos, isto é, das equipes responsáveis pelas diferentes etapas do processo construtivo, até os clientes externos, seja o contratante do empreendimento ou os clientes finais a quem se destina o produto em desenvolvimento. Importante considerar também que parte dos dados coletados através desses formulários poderão servir também para outras etapas do processo, já que as etapas são interligadas e desta forma alguns dados também são interdependentes. Outra consideração é que parte destes dados podem ser adquiridos de experiências passadas em empreendimentos similares.

No caso da Construtora Alfa é importante que se inicie a coleta sistemática dos dados de seus empreendimentos, já que o conhecimento que vem sendo adquirido ao longo dos anos de experiência, não vem sendo devidamente organizado e arquivado, estando esse conhecimento apenas com os profissionais que fazem parte da empresa. O fato desta empresa buscar manter os mesmos parceiros na execução de seus empreendimentos, reforça o valor desta coleta de dados, tendo em vista que isso deverá garantir menor variabilidade entre os dados e, conseqüentemente, maior confiabilidade aos mesmos. Nos casos de empresas que costumam trocar de parceiros constantemente torna-se mais difícil obter dados que representem fielmente os valores atingidos durante a execução, pois a possibilidade de variação entre uma subempreiteira e outra é maior.

Organizar essas informações exige um grande esforço inicial, tanto para elaborar os formulários de coleta de dados adequadamente, quanto para o aprendizado necessário para a utilização das ferramentas e a readaptação aos novos processos. No entanto, após o período de adaptação, é esperado que o trabalho se torne mais fácil de ser realizado permitindo que os esforços possam ser concentrados em outras atividades.

Para os clientes externos sugere-se a adoção de formulários que tragam questões relacionadas aos padrões de qualidade e características esperadas, expectativas em relação ao empreendimento e disponibilidade financeira. Já para os clientes internos deverão constar questões que tratem da capacidade produtiva, recursos disponíveis e tecnologias dominadas, restrições, recursos e espaço físico necessário.

É desejado que estes formulários sejam desenvolvidos de forma a permitir a exportação/conversão em parâmetros para softwares de análise do modelo de maneira prática. Permitindo também que quaisquer alterações possam ser incluídas sem a necessidade de um novo processamento desses dados para a conversão ou adaptação ao formato adequado. A definição de como esses dados serão coletados e exportados para o software deverá depender principalmente dos mecanismos de inclusão de dados utilizados pelo software adotado. Sendo assim, a própria escolha do software deverá ser feita tendo em vista os objetivos do processo de desenvolvimento do PSP na organização.

5.4.2 Definição da sequência de execução do empreendimento

Na maioria dos empreendimentos da empresa Alfa são utilizados os mesmos processos e tecnologias já dominados pela empresa e seus contratados. Dessa forma há pouca necessidade de se reavaliar a sequência executiva, visto que essa já tem sido aperfeiçoada pela prática. Entretanto, mediante a inserção de novas tecnologias ou processos, ou ainda, caso algum imprevisto torne necessário reavaliar a sequência executiva, a utilização do BIM 4D poderá ser uma ferramenta de grande valor. Por tratar-se de uma ferramenta relativamente fácil de ser utilizada, há pouca interferência no processo de estudo da sequência que já é realizado com auxílio do BIM 4D, no entanto, é necessário se obter dados adequados para a finalidade na qual o estudo será desenvolvido, por exemplo, no caso da adoção de um processo construtivo nunca antes utilizado pela empresa Alfa. Sugere-se a criação de um banco de dados das tecnologias que potencialmente podem ser empregadas pela construtora com dados como: tempo médio de execução por unidade de medição, horas/homem, restrições, materiais empregados, entre outros.

5.4.3 Definição da unidade base

Diante do padrão de empreendimentos da empresa Alfa, com grande repetitividade entre as unidades, torna-se relativamente simples definir uma unidade base. A utilização de processos computacionais pode, contudo, facilitar essa definição em áreas comuns dos empreendimentos, onde não há essa mesma repetição, ou ainda, poderá ser aplicada em algum empreendimento em que a empresa seja

responsável pela execução e não ocorra essa mesma repetição dos empreendimentos residenciais normalmente realizados pela construtora.

Recomenda-se que durante a realização dos estudos para definir as prioridades do processo de desenvolvimento do PSP para a empresa, a avaliação de quais as características mais importantes para a definição de uma unidade-base, segundo os critérios da empresa Alfa e então a criação de diretrizes para os modelos BIM que incluam tais dados em seus parâmetros. Durante o processo de definição da unidade-base, um software de análise dos modelos poderá ser utilizado para agrupar os espaços do empreendimento de acordo com os critérios pré-estabelecidos pelas diretrizes do processo adotadas pela empresa. Com isso a empresa deverá ser capaz de aumentar seu controle sobre atividades e sequências específicas em canteiro.

5.4.4 Dimensionamento da capacidade de recursos

Nesta etapa, também é bastante importante a adoção de um banco de dados que forneça o embasamento necessário para a realização do estudo de dimensionamento. No processo atualmente realizado pela empresa Alfa, a experiência dos engenheiros e gestores da obra e a percepção dos mesmos em relação à capacidade de seus subcontratados são as principais fontes de informação para a tomada de decisão. Considerando que humanos estão mais propensos a cometer falhas e que um eventual desligamento de algum dos agentes envolvidos neste processo do quadro de funcionários da construtora poderia levar a uma grande perda de informações, a criação de um banco de dados que agregue os dados relacionados a estes processos pode representar uma saída sensata. Estes dados poderiam ser incluídos nos modelos BIM dos empreendimentos da construtora, relacionando-os, ainda, com dados de disponibilidade financeira para que sejam avaliadas e dimensionadas a capacidade produtiva necessária e a disponível para o empreendimento. Isto pode ser alcançado com uso do BIM 5D, onde além de simularmos o planejamento da obra por etapas e processos, podem ser incluídos os valores financeiros agregados a cada uma destas etapas. Neste sentido, quanto mais detalhado um processo for em seu modelo BIM, maior a precisão em se obter os valores financeiros a um dado momento da obra.

5.4.5 Estudo dos fluxos de trabalho

Nesta etapa a adoção de um banco de dados que agregue dados históricos relacionados à execução é um fator importante para que a tomada de decisão no estudo dos fluxos possa ser realizada com maior confiabilidade. Além de dados associados ao tempo das atividades, são também necessários dados relacionados ao espaço utilizado durante sua execução, de forma a viabilizar o estudo em 4D. Especialmente para os períodos onde há maior número de operários trabalhando, visualizar seus fluxos e a relação com os demais processos que estão ocorrendo em paralelo, deve ajudar a definir o fluxo e sincronia ideal entre as atividades. Adotar como padrão o desenvolvimento de uma linha de balanço do empreendimento, o que pode ser auxiliado por softwares BIM, como os softwares da linha Vico pertencente à empresa estadunidense Trimble, é também recomendado.

5.4.6 Estudo dos processos críticos

A experiência da construtora com o mesmo padrão de empreendimentos permite que, em geral, sejam reconhecidos os processos críticos. A utilização do modelo BIM, parametrizado de acordo com os dados citados nas etapas anteriores e conforme as prioridades definidas pela empresa, permitirão que os processos críticos sejam amplamente estudados, reduzindo a incerteza inerente aos mesmos. Outra possibilidade é que mediante a adoção de um novo processo ou tecnologia, ou ainda, devido a uma particularidade do projeto, ocorra uma mudança na definição de quais processos são críticos e com o embasamento proporcionado pelo BIM será possível estudar a atividade em questão antes de iniciar sua execução.

Sugere-se que a empresa também analise a possibilidade de realização do controle dessas atividades de forma virtual, com fichas de verificação digitais que podem já servir para coleta dos dados de execução.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa buscou responder ao questionamento apresentado na seção 1.1: “Como o processo de Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode contribuir para o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção em edifícios?”. Este questionamento levou ao objetivo principal da pesquisa que é a proposição de diretrizes para o desenvolvimento do PSP apoiado por processos BIM (seção 1.2). Buscando a melhor compreensão dos objetivos e etapas desta pesquisa o objetivo principal foi desdobrado em quatro itens, apresentados na seção 1.3.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi adotada a estratégia de estudo de caso e foi realizada em duas etapas: exploratória e de desenvolvimento. A fase exploratória constituiu-se, principalmente, em identificar um problema prático relevante e obter o embasamento teórico adequado ao contexto da pesquisa. Para este fim, foi realizada uma na revisão da literatura acerca dos temas: Gestão da informação, Gestão de Projetos, Projeto do Sistema de Produção e a Modelagem da Informação da Construção (BIM). Durante esta revisão, verificou-se a relevância do problema identificado e da necessidade de mais pesquisas que tratassem da questão. Além da revisão da literatura, foi identificada uma empresa para o estudo de caso e foram realizadas entrevistas com profissionais desta empresa, seguindo um roteiro relacionado ao contexto da pesquisa.

A revisão sobre gestão da informação (seção 2.1) aborda questões relacionadas ao fluxo e qualidade da informação. Estes conceitos se demonstraram importantes para a compreensão do caminho percorrido por uma informação e dos processos envolvidos neste fluxo. Também permitiu avaliar que a qualidade de informação é um conceito subjetivo, mas muito relacionado a capacidade de uma informação fornecer os dados necessários ao seu receptor na medida e momento adequado. Isso reflete a importância de se estruturar o processo de desenvolvimento do PSP de modo a obter os dados adequados para a tomada de decisão.

O estudo da gestão de projetos (seção 2.2) focou-se na indústria da construção e permitiu a compreensão das etapas em que se desenvolve um projeto nesta indústria, assim como, a relação entre essas etapas e os principais agentes envolvidos. Ficou evidente que pelos processos tradicionais os projetos desenvolvem-

se de maneira bastante segregada o que gera, também, problemas de comunicação entre os agentes envolvidos e consequente redução da qualidade dos projetos.

A pesquisa sobre o projeto do sistema de produção envolveu uma revisão sistemática da literatura, cuja os resultados são apresentados na seção 2.3 com seu método detalhado em 3.3.1. Esta revisão teve por objetivo compreender as principais características e princípios envolvidos, o escopo de decisões e o fluxo de informações associado ao processo de desenvolvimento do PSP. Foi possível, também, identificar na literatura nacional modelos para a realização do projeto do sistema de produção em empreendimentos de construção civil. Estes modelos serviram de base para orientar o desenvolvimento das diretrizes que são objetivo desta pesquisa. Foram identificadas, ainda, alguns estágios para implementação do processo e as principais técnicas e ferramentas aderentes ao PSP.

A pesquisa sobre BIM trouxe os principais conceitos envolvidos e definições da tecnologia, permitindo entender as diferenças em relação aos processos tradicionais e vislumbrar as principais aplicações e benefícios que podem ser obtidos com a tecnologia. Ficou evidente que no processo BIM há uma valorização da multidisciplinaridade e da relação entre as diferentes interfaces que compõem um projeto de construção civil, a partir, principalmente, do uso de TICs para facilitar o processo.

Paralelamente à realização da revisão bibliográfica buscou-se potenciais parceiros para o desenvolvimento de análises práticas para os fins desta pesquisa. Identificou-se a empresa Alfa como potencial caso de estudo e foi estabelecida a parceria com os profissionais da organização, que se dispuseram a discutir o processo de projeto realizado pela empresa.

Com base na literatura consultada foi desenvolvido o protocolo de coleta de dados (QUADRO 6). Neste foram definidas as principais atividades e questionamentos associados ao processo de desenvolvimento do PSP. Sua validação se deu através das entrevistas realizadas com profissionais das empresas Alfa e Beta, que foram objeto de estudo nesta pesquisa. As entrevistas também serviram para definir o processo de desenvolvimento do PSP na organização estudada, assim como, sua forma de atuação no mercado e processo de desenvolvimento de projetos em geral.

A partir do embasamento obtido na fase anterior iniciou-se a etapa de desenvolvimento da pesquisa. Com base na literatura foi desenvolvida a Matriz de

Interações entre Funcionalidades BIM e Princípios do PSP (FIGURA 10). Esta matriz tem o objetivo de tornar clara a sinergia existente entre o BIM e o processo de desenvolvimento do PSP. A matriz foi utilizada para a realização da análise do potencial de aplicação do BIM para o desenvolvimento do PSP. Com base na relação estabelecida na matriz foram propostas possíveis aplicações do BIM em cada etapa de desenvolvimento do PSP, de acordo com os modelos utilizados como referência. Utilizando como referência o (QUADRO 3) foram sugeridos alguns tipos de dados adequados para cada etapa, de acordo com as informações necessárias para a tomada de decisão e simulação na etapa em questão.

Confrontando a literatura e os dados coletados através das entrevistas foi realizado um diagnóstico do processo de desenvolvimento do PSP na empresa Alfa, considerando a participação da empresa Beta neste processo. Notou-se uma disparidade entre o que é proposto pela literatura e o que é de fato realizado na empresa Alfa, estando os processos desenvolvidos nesta aquém do recomendado. No entanto, o agente entrevistado salientou que o processo empregado tem se demonstrado suficiente para o atingimento das metas da empresa. Afirmou também que teme adotar, ao menos por enquanto, um processo muito complexo para esta etapa do desenvolvimento do projeto, pois poderia criar um excesso de burocracias e travar o andamento geral dos projetos. Por manter uma relação estreita com as subempreiteiras que prestam serviço para a empresa Alfa, esta confia às equipes de obra a tarefa de definir sequências e fluxos internos de serviço, a partir do planejamento de longo prazo estabelecido pela gerência de empresa. Desta forma não há um controle sistemático das atividades em canteiro e de sequências internas de execução, por exemplo, a definição de quais paredes serão rebocadas primeiro. Isso explica porque não há, no processo de desenvolvimento do PSP na empresa Alfa, uma etapa de definição sistemática da unidade-base e de planejamento das atividades realizadas no interior desta unidade, contrastando com a recomendação da literatura consultada.

O diagnóstico da empresa Alfa permitiu que o pesquisador desenvolvesse diretrizes específicas para o caso. Permitiu também levar em consideração uma visão prática da maneira que o PSP é realizado no âmbito desta empresa.

Em seguida foram sugeridas algumas ações para o caso de a empresa Alfa organizar sistematicamente seu processo de desenvolvimento do PSP visando a utilização do BIM neste processo. Entretanto, conforme já demonstrado, não foi

possível efetivamente implementar este processo sugerido pelo pesquisador na empresa Alfa. Desta forma não foi possível avaliar de forma quantitativa as diretrizes aqui propostas.

O estudo foi desenvolvido visando uma abordagem sistêmica e colaborativa dos processos, conforme os princípios do BIM sugerem. Isso demonstrou-se relevante na medida em que se observou que a natureza dos dados utilizados para a tomada de decisão no processo de desenvolvimento do PSP é diversa e constantemente interdependente, já que uma definição pode limitar outras ou mesmo impossibilitá-las. Também reforça a importância do estabelecimento de um processo que seja claro para todos envolvidos, com dados de entrada e saída bem definidos em cada etapa do processo.

Na análise realizada notou-se de fato uma forte sinergia entre a tecnologia e os processos associados ao BIM com os princípios relacionados ao PSP. O desenvolvimento de um Projeto do Sistema de Produção de forma sistemática e holística exige a consideração de uma ampla gama de dados e uma gestão eficiente destes durante todo o processo. As possibilidades da Modelagem da Informação da Construção para este fim são realmente promissoras e deverão permitir que não só o desenvolvimento do PSP, mas também que o controle das atividades em canteiro ocorra de forma mais eficiente, com uma maior consideração de variáveis e menor risco de falhas humanas, a partir da automatização de algumas etapas e de análises realizadas durante o processo.

Outra notação importante é a de que os modelos devem ser parametrizados de acordo com os dados necessários para a realização dos estudos definidos como pertinentes para o processo de desenvolvimento do PSP na organização. Isto é, considerando a maneira que os dados serão recebidos e analisados ao final de cada processo, deve-se estabelecer os protocolos de como esses dados devem ser inseridos no modelo e seu formato tanto na entrada quanto na saída.

É importante frisar que o BIM pode ser encarado como um facilitador do processo, mas não sua única maneira de ser realizado. Não só pela sua relação como uma Tecnologia da Informação, mas pelo seu princípio de promover a colaboração e o desenvolvimento de planos para execução em etapas anteriores do projeto, em relação aos processos tradicionais. Essa característica deverá permitir que as decisões associadas ao escopo do PSP sejam tomadas de forma mais conectada com as necessidades do projeto. Deverá, também, estreitar a relação entre os diferentes

agentes que participam das diversas etapas do processo de desenvolvimento de projetos na indústria da construção. Através desta relação mais próxima, permitir uma maior consideração de questões associadas a execução das atividades em canteiro, em relação aos processos tradicionais onde há pouco espaço para participação dos agentes responsáveis diretamente pela execução do empreendimento. Da mesma forma as técnicas e ferramentas aderentes ao PSP (seção 2.3.5) podem ser aplicadas sem a necessidade de processos BIM. Contudo, diante de processos melhor estruturados, holísticos e com ampla gestão de dados e informações, que podem ser obtidos pela perspectiva do BIM, deverá tornar-se mais fácil o desenvolvimento de aplicação de tais técnicas e ferramentas. Para exemplificar, a linha de balanço é uma técnica gerencial que pode ser conduzida de maneira automatizada em softwares BIM, poupando esforços e trazendo respostas imediatas a quaisquer alterações. Da mesma forma o *First Run Study* e outros estudos de prototipagem podem ser realizados de maneira virtual, também poupando recursos.

Há também a necessidade de se pensar em uma estrutura para o processo de desenvolvimento do PSP que esteja alinhado com a estratégia e os objetivos da organização para o BIM. A interdependência de dados e a capacidade de se utilizar o mesmo modelo BIM para outras análises, ou mesmo de reaproveitar elementos e biblioteca de componentes em outros projetos reforça esse ideal. Neste sentido, definir níveis de detalhamento conforme os usos do modelo em cada etapa do projeto, pode corroborar com o alinhamento dessas estratégias, além de estabelecer de forma objetiva os requisitos de dados e informação necessária em cada uma dessas etapas.

A principal dificuldade técnica, para o estabelecimento e realização destes processos, identificada pela análise realizada nesta pesquisa, está relacionada com a necessidade do estabelecimento de bancos de dados que supram as necessidades do processo. Conforme já apontado, no Brasil não há a tradição de se coletar e organizar de forma ampla e sistemática dados da execução de obras de construção civil. Isso também está relacionado com outra grande dificuldade, que é a questão da mudança cultural associada à implementação do BIM, amplamente discutida na literatura específica. Além da mudança no desenvolvimento dos projetos, a partir da promoção da colaboração e antecipação das etapas de planejamento, deve-se criar essa cultura de coleta e processamento de dados. A resistência verificada, por exemplo, na empresa Alfa para implantação do processo, temendo que as mudanças necessárias possam afetar o ritmo atual de desenvolvimento de projetos, é um reflexo

da inércia em que se coloca o mercado da construção no Brasil que, em geral, não se dispõe a realizar reformas significativas em seus processos e em muitos casos nem possui processos claramente estabelecidos.

É importante ressaltar que a adoção de um processo sistemático para desenvolvimento do PSP através do BIM está condicionada à maturidade da organização tanto em relação ao BIM como ao desenvolvimento do PSP como prática gerencial, conforme apontado em Schramm (2009). Assim sendo, a implantação de tais processos deverá acontecer de forma gradativa, conforme a capacidade de associação da organização/equipe com as técnicas e ferramentas que serão utilizadas.

As diretrizes aqui propostas foram desenvolvidas tendo como base o processo e tipologia de edificações realizados pela empresa Alfa, no caso vertical de múltiplos pavimentos com repetição. Além desta, as tipologias de edificações para as quais foram desenvolvidos os modelos utilizados como base para seu desenvolvimento, isto é, habitações de interesse social (Schramm, 2004; 2009) e edificações complexas (Rodrigues, 2006). Apesar das características diferentes desses tipos de projeto de construção, o escopo de decisões e os tipos de dados necessários são similares nestes casos, assim como o formato do processo de maneira geral. Desta forma é esperado que as diretrizes sejam aplicáveis a todas estas tipologias de edificações: complexas ou com múltiplas unidades horizontais ou verticais.

A partir dos resultados produzidos por esta pesquisa, são recomendados os seguintes tópicos para pesquisas futuras que visem explorar essa relação entre o BIM e o PSP:

- Procurar evidências práticas que confirmem ou refutem a relação entre BIM e PSP estabelecida na matriz;
- Avaliar a pertinência das diretrizes através da implantação do processo em projetos reais;
- Mensurar através de métricas os impactos no desenvolvimento do PSP sem e com o BIM.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDOR, M. R. A.; ALMEIDA CASTANHO, M. D. de; CAMBIAGHI, H.; DELATORRE, J. P. M.; NARDELLI, E. S.; OLIVEIRA, A. L. de. **Colocando o "i" no BIM**, Revista eletrônica de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, N.4, Segundo Semestre de 2010.

ALARCON, L. F.; BETANZO, C.; DIETHELM, S. Reducing Schedule in Repetitive Construction Projects. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2004. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/282>>.

ANDRADE, M. V. M. **Gerenciamento eletrônico da informação**: ferramenta para a gerência eficiente dos processos de trabalho. Niterói: UFF – Núcleo de Documentação, 2000.

ANDRADE, M. L. V. X. de; RUSCHEL, R. C. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no brasil e tendências. In: IX WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, n. 4, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2009. p. 602-613.

ARROTÉIA, A. V.; AMARAL, T. G. DO; MELHADO, S. B. Gestão de projetos e sua interface com o canteiro de obras sob a ótica da Preparação da Execução de Obras (PEO). **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 183–200, 2014. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT); **NBR 13.531**: Elaboração de projetos de edificações - Atividades técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 22 p.

_____. **NBR ISO 9000**: Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 35p.

AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): trends, benefits, risks and challenges for the AEC Industry. **Leadership and management in engineering**, v. 11, n. 3, 2011.

BALLARD, G. **Work Structuring = Process Design**. White Paper 5, Lean Construction Institute (LCI), 1999.

_____. The lean project delivery system: An update. **Lean Construction Journal**, v. 8, n. Revision 1, p. 1–19, 2008. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org/pdf/WP_9_ProjectDefinition.pdf>.

BALLARD, G.; HOWELL, G. A. An Update on Last Planner. 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2003. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/227>>.

BALLARD, G.; KOSKELA, L.; HOWELL, G.; ZABELLE, T. Production System Design in Construction. 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2001a. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/130>>.

_____. **Production System Design: Work Structuring Revisited**. White Paper 11, Lean Construction Institute (LCI), 2001b.

BARRETO, A. A. Mudança estrutural no fluxo do conhecimento: a comunicação eletrônica. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 122-127, maio/ago. 1998. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/ciinf/index.php/ciinf/article/view/340/301>>. Acesso em: 29 de jun. 2014.

BIOTTO, Clarissa N. **Método de gestão da produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 7, p. 971–980, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786312001779>>. Acesso em: 12/7/2014.

BUILDINGSMART, **Information Delivery Manual: guide to components and developers methods**, 2010. Disponível em: <http://iug.buildingsmart.org/idms/developement/idmc_004_1_2.pdf>. Acesso em 15/07/2014.

CALAZANS, A. T. S. Qualidade da informação: conceitos e aplicações. **TransInformação**, Campinas, v. 20, n.1, p. 29-45, jan./abr. 2008.

CALLEGARI, S. **Análise da compatibilização de projetos em três edifícios residenciais multifamiliares**. Estudo de caso. 2007. 160p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. D. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 8o Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP. Anais, p.1–12, 2011. Porto Alegre.

DAVENPORT, T. H. **Ecologia da informação**: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. 2ª ed. São Paulo: Futura, 1998.

DURANTE, F. K.; MENDES JR, R.; SCHEER, S.; GARRIDO, M. C.; Avaliação de aspectos fundamentais para a gestão integrada do processo de projeto e planejamento com uso do BIM. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de AYRES FILHO, C. Bookman, Porto Alegre, 2014.

GREEF, A. C.; FREITAS, M. C. D.; ROMANEL, F. B.; **Lean Office**: operação, gerenciamento e tecnologias. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.

HOWELL, G.; BALLARD, G. **Design of Construction Operations**. White Paper 4, Lean Construction Institute (LCI), 1999.

IBRAHIM, N. H. Reviewing the evidence: use of digital collaboration technologies in major building and infrastructure projects. **ITcon**, v. 18, p. 40–63, 2013. Disponível em: <http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2013_3>. Acesso em: 28/4/2015.

KASSEM, M.; IQBAL, N.; KELLY, G.; LOCKLEY, S.; DAWOOD, N. Building information modelling: protocols for collaborative design processes. **ITcon**, v. 19, p. 126–149, 2014. Disponível em: <http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2014_7>.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Joint Technical Report TR/SE-0401. Software Engineering Group, Department of Computer Science, Keele University, Australia, 2004.

KOSKELA, L. **An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction**. 2000. Tese (Doutorado) - Technical Research Centre of Finland, VTT Publications, Espoo.

KUMAR, S. S.; CHENG, J. C. P. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. **Automation in Construction**, v. 59, p. 24–37, nov. 2015.

LUKKA, K. **The constructive research approach**. 2001. Disponível em: <http://www.metodix.com/en/sisallys/01_menetelmat/02_metodiartikkelit/lukka_const_research_app/kooste>. Acesso em: 06/07/2015.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. 389 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

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

MELHADO, S. B. **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 115 p.

MENDES JUNIOR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. **Automation in Construction**, v. 43, p. 84–91, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580514000612>>. Acesso em: 18/12/2014.

MIKALDO JR., J.; **Estudo comparativo do processo de compatibilização de projetos em 2D e 3D com uso de TI**. 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MILBERG, C. Tolerance considerations in work structuring. Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC Conference. **Anais...** p.233–243, 2007.

MUIANGA, E. A. D.; GRANJA, A. D.; RUIZ, J. de A. Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 79-97, jan./mar. 2015.

NASCIMENTO, L. A. do; LAURINDO, F. J. B.; TOLEDO, E.; A eficácia da TI na indústria da construção civil. III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, SIBRAGEC. São Carlos, SP. **Anais...** ANTAC, Porto Alegre. 8 p., 2003.

NASCIMENTO, L. A. do; SANTOS, E. T.; A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2003.

NBIMS, National Building Information Modeling Standard. **Overview, Principles and Methodologies**, Version 1.0 - Part 1. National Institute of Building Sciences, EUA. 2007.

NERWAL, N.; ABDELHAMID, T. S. Construction crew design guidelines: A lean approach. IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2012.

NGUYEN, H. V.; LOSTUVALI, B.; TOMMELEIN, I. D. Decision analysis using virtual first-run study of a viscous damping wall system. Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** p.371–382, 2009.

NSPE, National Society of Professional Engineers. **Professional Engineer Magazine**, National Society of Professional Engineers, EUA. Jun. 2014.

OLETO, R. R.; Percepção da qualidade da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 35, n.1, p. 57-62, jan./abr. 2006.

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **ITcon**, v. 11, p. 395–408, 2006. Disponível em: <http://itcon.org/cgi-bin/works/Show?2006_29>. Acesso em: 10/4/2015.

RODRIGUES, Aline A. **O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SACKS, R.; DAVE, B. A.; KOSKELA, L.; OWEN, R. Analysis Framework for The Interaction Between Lean Construction and Building Information Modelling. 17th International Group for Lean Construction, Taipei. **Anais...** p.221–234, 2009.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; OWEN, R. The Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968–981, 2010.

SCHEER, S.; GEHBAUER, F.; MENDES JUNIOR, R.; FREITAS, M. C. D.; **Técnicas de Produção e Materiais para Fluxo de Informação em Canteiros de Obras**. 1ª ed. Curitiba: UFPR, p. 201, 2008.

SCHRAMM, Fábio Kellermann. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

_____. **Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão**. 2009. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SCHRAMM, F. K.; COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T. The Design of Production Systems for Low-Income Housing Projects. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2004. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/299>>. Acesso em: 14/7/2015.

_____. O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 59–74, 2006.

SCHRAMM, F. K.; RODRIGUES, A. A.; FORMOSO, C. T. The role of production system design in the management of complex projects. Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-14. **Anais...** p.227–239, 2006.

SOUSA, F. J. **Compatibilização de projetos em edifícios de múltiplos andares** - estudo de caso. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco: Recife, 2010.

SOUZA, L. L. A.; AMORIM, S. R. L.; LYRIO, A. M. Impactos do Uso do BIM em Escritórios de Arquitetura: oportunidade no mercado imobiliário. **Revista Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v.4, n.2, p.26-53, 2009.

SUCCAR, B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, **Automation in Construction**. v. 18, n. 3 p. 357-375. 2009. Elsevier B.V.

TEICHOLZ, P.; U.S. Construction Labor Productivity Trends, 1970–1998. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 127, n. 5, p. 427–429, set./out. 2001.

TSAO, C. C. Y.; TOMMELEIN, I. D. Creating Work Structuring Transparency in Curtain Wall Design. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2004. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/337>>. Acesso em: 14/7/2015.

TSAO, C. C. Y.; TOMMELEIN, I. D.; SWANLUND, E.; HOWELL, G. A. Case Study for Work Structuring: Installation of Metal Door Frames. 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** 2000. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/125>>. Acesso em: 14/7/2015.

_____. Work Structuring to Achieve Integrated Product–Process Design. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 130, n. 6, p. 780–789, 2004. American Society of Civil Engineers.

TUHOLSKI, S. J.; TOMMELEIN, I. D. Design Structure Matrix Implementation on a Seismic Retrofit. **Journal of Management in Engineering**, v. 26, n. 3, p. 144–152, 2010. American Society of Civil Engineers.

VITAL, L. P.; FLORIANI, V. M.; VARVAKIS, G.; Gerenciamento do Fluxo de Informação como Suporte ao Processo de Tomada de Decisão. **Informação e Informação**, Londrina, v. 15, n.1, p. 85-103, jul./jun. 2010.

VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. Revisiting the three peculiarities of production in construction. 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings. **Anais...** 2005. Sydney, Australia.

YANG, J. B.; WEI, P. R. Causes of Delay in the Planning and Design Phases for Construction Projects. **Journal of Architectural Engineering**, Reston, v.16, n.2, p. 80-83, 2010.

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