

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIOGRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DIRETRIZES PARA A INTEGRAÇÃO DOS REQUISITOS DE
CONSTRUTIBILIDADE AO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO DE OBRAS
REPETITIVAS**

Marilucy Butinholi Rodrigues

Porto Alegre, 2005

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIOGRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DIRETRIZES PARA A INTEGRAÇÃO DOS REQUISITOS DE
CONSTRUTIBILIDADE AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTO DE OBRAS REPETITIVAS**

Marilucy Butinholi Rodrigues

Orientador: Professor Tarcisio Abreu Saurin, Dr.

Banca Examinadora:

Andrea Parisi Kern, Dra.

Prof.a Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNISINOS

Carlos Torres Formoso, Ph.D.

Prof. PPGEC / UFRGS

Vanderlí Fava Oliveira, Dr.

Prof. Departamento de Engenharia de Produção / UFJF

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como
requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração: Gerência da Produção

Porto Alegre, dezembro de 2005.

Essa dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Tarcisio Abreu Saurin, Dr.

Orientador

Prof. Luis Antônio Lindau, Ph.D.

Coordenador PPGE/UFGRS

Banca Examinadora:

Andrea Parisi Kern, Dra.

Prof.a Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNISINOS

Carlos Torres Formoso, Ph.D.

Prof. PPGEC / UFRGS

Vanderlí Fava Oliveira, Dr.

Prof. Departamento de Engenharia de Produção / UFJF

Estou convencido das minhas próprias limitações – e esta
convicção é minha força.

Mahatma Gandhi

Dedico este trabalho ao meu marido Leandro Rodrigues,
aos meus pais José e Marly Butinholi e aos meus sogros
José e Terezinha Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me fortalecido ao longo desta jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao orientador deste trabalho Prof. Tarcisio Abreu Saurin, pela dedicação e paciência no exercício de orientação e pelo empenho no desenvolvimento de minha formação.

À construtora onde foram realizados os estudos de caso e a todos os profissionais que contribuíram para a realização desta pesquisa, engenheiros Paulo Osório, Geraldo e Paula Paim, mestre-de-obras Ronaldo e a Mari do serviço de atendimento ao consumidor.

Aos profissionais contratados pela construtora, arquitetos Adriana Dalmas e Jotoar Siqueira e engenheiro Luiz Sérgio Franco pelas entrevistas concedidas.

Ao Eng. Marcus Daniel Santos, consultor da Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência da Universidade Federal de Santa Maria e ao Sr. Marco Túlio do departamento de Economia e Estatística do Sinduscon-RS, pelos dados disponibilizados.

À Luciana Miron e ao Prof. Formoso pelas contribuições ao desenvolvimento desta pesquisa e pela oportunidade de discutir este trabalho junto à comunidade do NORIE.

Aos colegas do NORIE pela amizade e acolhimento e em particular aos colegas baianos Fernanda Costa e Fábio Andrade.

Em especial ao meu marido Leandro Rodrigues pelo grande incentivo dado aos meus estudos de Pós-Graduação. E também por ter sido um parceiro incrível nestes últimos três anos, dando apoio, carinho, sendo compreensivo e paciente.

Aos meus pais José e Marly, irmãos Marília e Marcelo, pelo carinho e apoio incondicional na minha formação profissional. Mesmo distante o amor de vocês me acompanha.

Aos sogros José e Terezinha por terem me acolhido como uma filha em Porto Alegre e pelo apoio ao longo dos últimos três anos.

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	p.19
1.1 CONTEXTO.....	p.19
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	p.23
1.3 QUESTÕES DE PESQUISA.....	p.26
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	p.26
1.5 DELIMITAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS.....	p.27
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	p.27
2.0 CONSTRUTIBILIDADE: CONCEITO, PRINCÍPIOS E METODOLOGIAS.....	p.29
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	p.29
2.2 O CONCEITO DE CONSTRUTIBILIDADE.....	p.30
2.3 A CONSIDERAÇÃO DOS REQUISITOS DE PRODUÇÃO NO PDP EM OUTRAS INDÚSTRIAS.....	p.33
2.3.1 DFM (<i>Design for Manufacturability</i>).....	p.34
2.3.2 DFA (<i>Design for Assembly</i>).....	p.35
2.3.3 DHA (<i>Design for Human Assembly</i>).....	p.36
2.4 PRINCÍPIOS DE CONSTRUTIBILIDADE.....	p.37
2.4.1 Simplificar pela redução do número de partes e passos.....	p.38
2.4.2 Padronizar componentes e processos.....	p.40
2.4.3 Promover acessibilidade para trabalhadores, máquinas e equipamentos.....	p.41
2.4.4 Facilitar construção sob condições climáticas adversas.....	p.42
2.4.5 Otimizar dos processos de construção.....	p.43
2.4.6 Promover a manutenibilidade.....	p.44
2.4.7 Minimizar os tempos de percepção, decisão e manipulação nas operações de montagem.....	p.45

2.5 METODOLOGIAS PARA CONSIDERAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE.....	p.46
2.5.1 Racionalização Construtiva.....	p.46
2.5.1.1 Tecnologias Construtivas Racionalizadas (TCR).....	p.47
2.5.2 Projeto para Produção.....	p.49
2.5.3 Coordenação Dimensional.....	p.52
2.5.4 Pré-fabricação, Pré-montagem, Modularização e Montagem fora do local definitivo (PPMOF).....	p.53
2.5.4.1 Benefícios e condicionantes do uso dos métodos de PPMOF (CII, 2002).....	p.55
2.6 CONSIDERAÇÃO DOS ASPECTOS DE CONSTRUTIBILIDADE NO PDP.....	p.56
2.6.1 Engenharia Simultânea.....	p.57
2.6.1.1 Objetivos e Principais Características da ES.....	p.57
2.6.1.2 Considerações sobre Aplicação da ES na Construção Civil.....	p.59
2.6.2 Modelos do PDP na Construção de Edificações.....	p.59
2.6.3 Abordagens para consideração da construtibilidade no PDP.....	p.61
2.6.3.1 O Programa de Construtibilidade.....	p.64
2.6.3.2 Revisão da Construtibilidade.....	p.65
2.6.3.3 Modelo para consideração da construtibilidade de forma integrada ao PDP...	p.66
2.6.3.4 Discussão sobre as abordagens: programa de construtibilidade e revisão da construtibilidade.....	p.67
2.6.3.5 Captura de requisitos de construtibilidade.....	p.68
2.7 AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE.....	p.69
2.7.1 Indicadores de Desempenho na Avaliação da Construtibilidade.....	p.70
2.7.2 A Contribuição da Análise Crítica do Projeto na Avaliação da construtibilidade.....	p.74
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	p.76
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	p.79
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	p.79
3.2 DELINEAMENTO.....	p.79

3.3 ESTUDOS DE CASO.....	p.80
3.3.1 Caracterização da Empresa Pesquisada.....	p.80
3.3.2 Estudo de Caso 1 (EC1).....	p.81
3.3.2.1 Fase Preparatória do EC1.....	p.82
3.3.2.2 Fase de Desenvolvimento do EC1.....	p.85
3.3.2.3 Discussão dos Resultados do EC1.....	p.91
3.3.3 Estudo de Caso 2 (EC2).....	p.92
3.3.3.1 Fase Preparatória do EC2.....	p.92
3.3.3.2 Fase de Desenvolvimento do EC2.....	p.93
3.3.3.3 Discussão dos Resultados do EC2.....	p.95
3.4 AVALIAÇÃO GLOBAL DOS RESULTADOS E PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES.....	p.96
4. RESULTADOS.....	p.97
4.1 RESULTADOS DA FASE PREPARATÓRIA DO EC1.....	p.97
4.2 RESULTADOS DA FASE DE DESENVOLVIMENTO DO EC1 ...	p.100
4.2.1 Mapa do PDP da construtora Alfa.....	p.100
4.2.2 Sistema construtivo.....	p.104
4.2.3 Entrevistas.....	p.105
4.2.3.1 Entrevista com agentes de projeto.....	p.105
4.2.3.2 Entrevista com agentes de produção.....	p.107
4.2.4 Análise dos projetos do empreendimento Vivendas.....	p.109
4.2.4.1 Repetitividade.....	p.109
4.2.4.2 Minimização das modificações de projeto necessárias para oferecer variedade de layout interno.....	p.110
4.2.4.3 Minimização dos recortes, ângulos , inclinações e superfícies curvas	p.110
4.2.4.4 Padronização dos elementos de projeto.....	p.111
4.2.5 Planilhas discriminativas de pranchas.....	p.112
4.2.6 Planilhas de programação semanal.....	p.113
4.2.7 Seminários de produção.....	p.116
4.2.8 Relatórios de acompanhamento das obras.....	p.118

4.2.9	Visitas ao canteiro de obras.....	p.122
4.2.10	Indicador de Construtibilidade Proposto.....	p.123
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO EC1.....	p.126
4.3.1	Influência da organização do PDP na construtibilidade.....	p.126
4.3.2	Extensão pela qual a construtibilidade é considerada no projeto do produto.....	p.127
4.3.3	Influência do sistema construtivo empregado na construtibilidade.....	p.129
4.3.4	Influência da organização do empreendimento na construtibilidade.....	p.130
4.3.5	Extensão pela qual a construtibilidade é considerada no projeto do processo.....	p.131
4.3.6	Influência da ocorrência de não conformidades durante a execução no nível de construtibilidade incorporado no projeto do produto e do processo.....	p.133
4.4	RESULTADOS DA FASE PREPARATÓRIA DO EC2.....	p.134
4.5	RESULTADOS DA FASE DE DESENVOLVIMENTO DO EC2....	p.134
4.5.1	Reuniões entre agentes de projeto e construtora durante etapas iniciais do PDP.....	p.134
4.5.2	Reuniões entre agentes de projeto e produção após a conclusão da casa modelo.....	p.135
4.5.3	Entrevista com agentes de produção.....	p.137
4.5.4	Compatibilização de projetos após a construção da casa modelo....	p.138
4.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO EC2.....	p.139
5.	CONCLUSÕES, DIRETRIZES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	p.141
5.1	CONCLUSÕES	p.141
5.2	DIRETRIZES PARA INTEGRAÇÃO DOS REQUISITOS DE CONSTRUTIBILIDADE AO PDP.....	p.144
5.3	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	p.147
	REFERÊNCIAS.....	p.148

APÊNDICES..... p.156

ANEXOS..... p.177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Estrutura hierárquica de uma teoria sobre produção.....	p.30
Figura 2 : Capacidade de influenciar o custo final de uma edificação ao longo de suas fases.....	p.32
Figura 3 : Princípios de construtibilidade identificados na bibliografia.....	p.38
Figura 4 : Parede em alvenaria estrutural.....	p.49
Figura 5 : Possíveis Projetos para Produção.....	p.51
Figura 6 : Relação entre os métodos PPMOF.....	p.54
Figura 7 : Fabricação e instalação de banheiros prontos.....	p.55
Figura 8 : Divisão do PDP em etapas segundo autores pesquisados.....	p.61
Figura 9 : Gerenciamento Total da Construtibilidade: Integração do PRC e PDP.....	p.67
Figura 10 - Indicadores de Desempenho para avaliação da Construtibilidade.....	p.73
Figura 11 - Análise crítica do projeto com apoio de indicadores.....	p.76
Figura 12 - Delineamento da Pesquisa.....	p.80
Figura 13 - Identificação do período de coleta de dados em relação ao período de execução do empreendimento Vivendas.....	p.82
Figura 14 - Fontes de evidência utilizadas no EC1.....	p.83
Figura 15 – Cálculo do Índice de Construtibilidade.....	p.84
Figura 16 – Planilha discriminativa de pranchas.....	p.87
Figura 17 - Critérios evidências e fontes de evidência no EC1.....	p.91
Figura 18 - Identificação do período de coleta de dados em relação ao PDP do empreendimento Lunas.....	p.92
Figura 19 - Fontes de evidência utilizadas no EC2.....	p.93
Figura 20 - Critérios evidências e fontes de evidência no EC1.....	p.96
Figura 21 - Implantação do Empreendimento Vivendas.....	p.98
Figura 22 - Intervenientes do PDP da construtora Alfa.....	p.99
Figura 23 - Agentes do processo de produção construtora Alfa.....	p.100

Figura 24 - Mapa PDP da construtora Alfa.....	p.102
Figura 25 - Modelos de planta do empreendimento Vivendas.....	p.109
Figura 26 - Causas do não cumprimento da Programação Semanal no empreendimento Vivendas entre meses de junho e dezembro de 2004.....	p.114
Figura 27 - Número de fases com atividade programadas por semana.....	p.116
Figura 28 - Exemplos de sugestões de ações preventivas e corretivas extraídas das atas dos seminários de produção.....	p.117
Figura 29 - Incidência de não conformidades durante a execução por tipos.....	p.118
Figura 30 - Blocos cortados para passagem da tubulação de esgoto na vertical.....	p.119
Figura 31 - Interferência entre elementos estruturais, hidráulicos e elétricos.....	p.119
Figura 32 - Local onde houve necessidade de enchimento para correção de medidas	p.120
Figura 33 - Parede fora do prumo.....	p.120
Figura 34 - Tubulação elétrica comprimida pela ferragem no interior da laje pré-fabricada.....	p.120
Figura 35 - Blocos cortados utilizados no local de peças especiais.....	p.120
Figura 36 - Armazenamento inadequado de paletes de blocos de concreto no canteiro.....	p.120
Figura 37 - Transporte vertical de materiais utilizando equipamento do fornecedor (guincho auto-propulsor).....	p.122
Figura 38 - Apoio metálico para verga.....	p.122
Figura 39 - Presença de barro dificultando acessibilidade no canteiro do empreendimento Vivendas.....	p.122
Figura 40 - Boas práticas aplicáveis ao projeto do produto identificadas no EC1.....	p.129
Figura 41 - Boas práticas aplicáveis ao projeto do processo identificadas no EC1.....	p.132
Figura 42 - Fatores que acarretam perda da construtibilidade incorporada no projeto do produto e do processo durante a etapa de construção.....	p.133

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Número de repetições das plantas por modelo e por pavimento.....	p.110
Tabela 02 - Valores dos índices Ic e DP para os modelos de planta do empreendimento Vivendas.....	p.111
Tabela 03 - Relação do número total de projetos e de modificações.....	p.112
Tabela 04 - Cálculo dos Índices de Construtibilidade.....	p.124
Tabela 05 - Aspectos contemplados nas modificações de projeto.....	p.136
Tabela 06 - Causas das modificações de projetos após a construção da casa modelo	p.137

LISTA DE SIGLAS

AASHTO: *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC: Arquitetura, Engenharia e Construção

AsBEA: Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

ASCE: *American Society of Civil Engineers*

CII: *Construction Industry Institute*

CIRIA: *Construction Industry Research & Information Association*

CH: Condomínios Horizontais

CTE: Centro de Tecnologia da Edificação

CUB: Custo Unitário Básico

DFA: *Design for Assembly*

DFM: *Design for Manufacturability*

DFX: *Design for X*

DHA: *Design for Human Assembly*

EC1: Estudo de Caso 1

EC2: Estudo de Caso 2

ES: Engenharia Simultânea

EPTC: Empresa Pública de Transporte e Circulação

IC: Índice de Construtibilidade

FTA: *Failure Tree Analysis*

FMEA: *Failure Mode and Effects Analysis*

MDIC: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

PDP: Processo de Desenvolvimento do Produto

PPGEP: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

PPMOF: *Prefabrication, Preassembly, Modularization and Offsite Fabrication*

PRC: Processo de Revisão da Construtibilidade

QFD: *Quality Function Deployment*

SINDUSCON: Sindicato da Indústria da Construção Civil

STA: *State Transportation Agencies*

TCR: Tecnologias Construtivas Racionalizadas

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas.** 2005. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) convencional tende a enfatizar a definição do produto sem levar em conta as necessidades da produção. Dentre as várias iniciativas que têm sido desenvolvidas para integrar estas duas interfaces, este trabalho destaca a construtibilidade, a qual visa, por meio de intervenções no projeto do produto e do processo, garantir a facilidade de execução da obra durante as etapas de construção e manutenção. No entanto, poucos estudos têm se dedicado à consideração dos requisitos de produção no PDP de obras de menor complexidade. Assim, o objetivo principal deste trabalho consiste em propor diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao PDP de obras repetitivas, que abrangem conjuntos residenciais e prédios altos com mais de dez pavimentos. A partir de dois estudos de caso realizados em uma empresa construtora e incorporadora de condomínios horizontais de Porto Alegre, foram propostas as seguintes diretrizes: (a) adequação do projeto do produto às limitações impostas pela tecnologia construtiva disponível; (b) análise crítica do projeto com apoio de indicadores; (c) construção e avaliação de uma unidade modelo; e (d) desenvolvimento de mecanismos de aprendizagem em relação à construtibilidade. A diretriz (b) inclui a proposição de um *check-list* de boas práticas com vistas a avaliação dos níveis de construtibilidade do projeto do produto e do processo. Além disso, este trabalho indicou que, a ocorrência de determinadas não conformidades durante a execução, tais como má qualidade dos materiais e erros de execução, resultam em perda do valor agregado para o cliente interno. Sendo assim, constatou-se que o esforço pela melhoria da construtibilidade deve incluir a consideração de meios para assegurar que a facilidade de execução prevista no projeto do produto e do processo, seja concretizada na etapa de construção.

Palavras-chave: desenvolvimento do produto; construtibilidade; obras repetitivas.

ABSTRACT

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas.** 2005. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Traditional product development process (PDP) usually emphasizes definition of product features, without properly considering production requirements. Many initiatives have been developed in order to integrate production and design, the one focused on this study is constructability, which aims make it easier the execution process during construction and maintenance stages through interventions in both product and process design. Nevertheless, few studies have been dedicated to consider production requirements in PDP, especially in low complexity constructions. Thus, the primary objective of this study is to propose guidelines to integrate constructability requirements into the PDP of repetitive buildings, such as housings estate and tall buildings with more than 10 floors. Based on two case studies carried out at housings estate projects, four main guidelines were proposed: (a) product design should consider constraints imposed by available construction technology; (b) a design critical analysis should be supported by performance indicators related to constructability; (c) to build a prototype unit to detect opportunities to improve constructability before starting the construction stage; and (d) to develop constructability learning mechanisms. The guideline (b) includes the proposition of a constructability best practices check-list that may help to evaluate constructability levels incorporated at both product and process design. Moreover, this study pointed out that the occurrence of certain non-conformities during construction, such as poor quality materials and execution failures, can decrease the value added to internal clients. Thus, the conclusion was made, that the set of measures implemented to improve constructability must include means to ensure that the ease of execution that was foreseen on product and process design is realized on construction stage.

Key words: product development; constructability; repetitive buildings.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

Nas últimas décadas, mudanças relacionadas ao mercado, à tecnologia e ao processo de desenvolvimento de produtos (PDP) não têm sido plenamente absorvidas pelo setor da construção civil. Apesar do aumento da complexidade das edificações, dos processos produtivos e do nível de exigência dos clientes, as equipes de projeto e de produção não alteraram significativamente sua forma de atuação (CODINHOTO et al. 2004).

De acordo com os resultados do Fórum de Competitividade da Cadeia Produtiva da Construção Civil de 2002, promovido pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), o segmento de edificações é onde se encontram os maiores desafios de competitividade para a cadeia produtiva da construção civil (MDIC, 2002a). O estudo prospectivo da cadeia produtiva da construção civil, relativo à produção e comercialização de unidades habitacionais urbanas, também promovido em 2002 pelo MDIC, identificou diversos fatores críticos que servem de entrave para a evolução tecnológica do segmento de edificações (MDIC, 2002b).

Dentre os fatores críticos identificados nesse estudo (MDIC, 2002b), destacam-se: (a) o preço para o consumidor, que ainda é considerado alto, já que cerca de 90% do déficit habitacional atinge famílias com faixa de renda baixa e média; (b) a pouca qualidade do projeto, devido, entre outros, ao baixo grau de racionalização prevista, principalmente no que diz respeito à padronização, coordenação modular e a pouca coordenação e articulação de interfaces; (c) a produtividade da mão-de-obra, que ainda é baixa comparada à produtividade européia e norte-americana; (d) o alto custo de manutenção pós-entrega, como consequência da pouca qualidade da obra e dos insumos; (e) inibição da industrialização, em função da alta taxa tributária que incide sobre o preço de componentes pré-fabricados, somada à falta de conhecimento técnico a respeito das novas tecnologias.

Muitos dos pontos críticos relatados no estudo prospectivo são, em parte, reflexo do processo de projeto convencional, que enfatiza a definição do produto sem levar em conta as necessidades de produção (BARROS e SABBATINI, 2003). Tal prática é preocupante, uma vez que os métodos de produção são, em grande parte, determinados pelo projeto do produto. Isso ocorre na medida em que este estabelece o nível de complexidade do processo por meio de decisões relativas, dentre outras, às formas geométricas, configuração dos elementos estruturais e elementos de vedação. Assim, os projetos normalmente não são devidamente avaliados pelos projetistas com relação ao grau de complexidade das soluções quanto à execução (SILVA¹, 1986 apud OLIVEIRA, 1994).

Visando considerar as necessidades da produção no projeto, a indústria manufatureira tem se apoiado na filosofia da produção enxuta, que visa a redução das perdas inerentes ao processo produtivo, balanceando as melhorias nos fluxos (eliminação ou redução das atividades de fluxo) com as melhorias nas conversões (aumentando a eficiência das atividades de conversão) (ISATTO e FORMOSO, 1998); bem como na engenharia simultânea que, entre outros, visa considerar as questões relacionadas ao ciclo de vida dos produtos (dentre as quais se incluem aquelas relativas ao processo produtivo) nas etapas iniciais do projeto (KAMARA et al., 2002).

Em relação à consideração das questões relativas ao ciclo de vida dos produtos, os métodos DFX (*Design for X*) têm sido utilizados como ferramentas da Engenharia Simultânea (KOSKELA, 1992). DFX é o nome genérico atribuído a um conjunto de métodos que visam, a partir da consideração de princípios aplicáveis ao projeto do produto, maximizar características desejáveis, tais como: ergonomia, segurança, confiabilidade, facilidade de fabricação, montagem, manutenção, ente outras, onde o “X” corresponde a cada uma destas características (BRALLA, 1998).

Os métodos DFM (*Design for Manufacturability*), DFA (*Design for Assembly*), e DHA (*Design for Human Assembly*) são tipos de DFX, especificamente voltados à consideração das necessidades de produção no projeto do produto. Deste modo, o DFM visa facilitar a fabricação de um produto ou componente (BRALLA, 1998), enquanto o DFA visa facilitar as

¹ SILVA, M. A. **Identificação e Análise dos fatores que afetam a produtividade sob a ótica dos custos de produção de empresas de edificações.** 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

operações de montagem tanto por pessoas como por robôs (BOOTHROYD e DEWHURST). Já o DHA visa reduzir os tempos de percepção, decisão e manipulação nas operações de montagem realizadas por pessoas (HELANDER e WILLÉN, 1999).

Embora ainda pouco disseminados na construção civil, vários autores (KOSKELA, 1992; FORMOSO e ISATTO, 1998; KOSKELA 2000; KAMARA et al., 2002; FOX et al., 2002) têm estudado as implicações destes conceitos para o setor. Inclusive, pesquisadores têm utilizado o termo construção enxuta para designar os esforços de implementação dos ideais da produção enxuta no setor da construção (KOSKELA, 1998; FORMOSO e ISATTO, 1998). Especificamente em relação aos métodos DFM, DFA e DHA, o setor da construção tem empregado o conceito de construtibilidade com objetivos semelhantes. A construtibilidade se refere à facilidade com que uma edificação pode ser construída, a partir da consideração dos requisitos de produção ao longo de todas as etapas do PDP (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE, 1986).

Esta facilidade em construir pode conduzir a tempos menores de execução, menor número de operários necessários, maior produtividade, menos perdas por descontinuidade das operações e maior qualidade, pela possibilidade de eliminação de incertezas e variabilidades ao longo do processo construtivo (HEINECK e PETRUCCI, 1989).

É importante ressaltar que, neste trabalho, o processo de desenvolvimento de produto compreende tanto o projeto do produto quanto o projeto do processo e se estende desde a concepção, até a etapa de uso e manutenção, sendo que a inclusão desta última etapa visa a coletar dados para retroalimentação de futuros processos.

As discussões sobre construtibilidade têm despertado o interesse de pesquisadores do Brasil (OLIVEIRA, 1994; SANTOS 2000; RODRIGUEZ e HEINECK, 2003; SAFFARO et al. 2004; RAUBER et al. 2005) e do exterior (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII), 1987; RUSSELL et al., 1992; TATUM e FISCHER, 1997; ANDERSON et al., 2000; NIMA, 2002; WONG et al., 2004), sendo reconhecido o seu impacto no aumento do desempenho das construções em termos de custo, prazo de execução e qualidade, principais fatores competitivos para o mercado na atualidade.

Embora bem difundido nos Estados Unidos e países da Europa, o conceito de construtibilidade ainda é pouco conhecido nas construtoras brasileiras, de modo que as idéias

associadas a este conceito vêm sendo consideradas de modo indireto através de iniciativas como a racionalização construtiva, o projeto para produção e métodos construtivos (como por exemplo, a pré-fabricação e a pré-montagem). Embora essas iniciativas tenham cooperado para a promoção da construtibilidade, as mesmas não contemplam todos os aspectos associados a esta.

Dentre a literatura consultada, observou-se que os estudos relacionados à construtibilidade podem ser enquadrados em cinco linhas principais de pesquisa: (a) proposição de meios (modelos, diretrizes ou abordagens) para consideração dos aspectos de construtibilidade no projeto do produto (CII,1987; ASCE,1991; RUSSELL et al.,1992; RADTKE e RUSSELL, 1993; GUGEL e RUSSELL, 1994; AASHTO, 2000; ANDERSON et al., 2000; ARDITI et al., 2002; RODRIGUEZ e HEINECK, 2003); (b) proposição de conceitos e princípios gerais de construtibilidade aplicáveis ao projeto do produto e ao projeto do processo (CII,1986; O'CONNOR et al., 1987; TATUM, 1987; CII², 1993 apud JERGEAS e VAN DER PUT, 2001; OLIVEIRA, 1994; FOX et al., 2002; NIMA et al., 2002; RODRIGUEZ e HEINECK, 2003); (c) estimativa dos benefícios decorrentes da consideração dos aspectos de construtibilidade (CII, 1987; RUSSELL et al.1992; JERGEAS e VAN DER PUT, 2001); (d) proposição de ferramentas de apoio à avaliação da construtibilidade (FISHER et al, 2000; FRENCH, 2003); e (e) classificação da base de conhecimento sobre construtibilidade (O'CONNOR e TUCKER, 1986; HALON e SANVIDO, 1995; TATUM e FISCHER, 1997; SAFFARO et al., 2004).

Observa-se que os estudos sobre construtibilidade são, com freqüência, associados a um determinado segmento (por exemplo, industrial e transportes) ou tecnologia (por exemplo, concreto armado e sistema *drywall*). Este fato sugere que a construtibilidade tem suas origens na prática das empresas e que o desenvolvimento de um referencial teórico associado a ela ocorre no sentido de esclarecer os conceitos e a teoria por trás dessas práticas (*bottom-up*). Isto significa que novos métodos e práticas são implementados sem a explicitação dos fundamentos teóricos (KOSKELA, 2000).

No que diz respeito à consideração dos aspectos de construtibilidade no PDP, um estudo realizado por Russell et al. (1992) em diferentes tipos de empreendimentos, identificou oito

² CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability Implementation Guide**. Austin: University of Texas at Austin, 1993. (Publication 34-1).

abordagens distintas. Essas abordagens referem-se basicamente, ao meio pelo qual as informações sobre construtibilidade são disponibilizadas para os agentes envolvidos no PDP. De acordo com um estudo do CII (1987), a diversidade de abordagens é necessária, uma vez que um modelo genérico é incapaz de atender aos diversos arranjos organizacionais existentes.

Dentre as abordagens identificadas nos estudos de Russell et al. (1992), apenas duas (programa de construtibilidade e revisão da construtibilidade) foram investigadas por outros autores (RADTKE e RUSSELL,1993; AASHTO, 2000; ANDERSON et al. 2000; ARDITI et al. 2002). Além disso, a abordagem revisão da construtibilidade do projeto foi a única citada em estudos mais recentes, como a abordagem empregada pelas empresas privadas (ARDITI et al., 2002) e por órgãos públicos (AASHTO, 2000; ANDERSON et al., 2000) dos Estados Unidos.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Embora estudos como o do CII (1987) e de Russell et al., (1992) tenham comprovado os benefícios relativos à consideração dos aspectos de construtibilidade no PDP, sobretudo nas questões referentes a custo, prazo e qualidade, esta ainda é ignorada em muitos projetos. Segundo Tatum e Fischer (1997) uma das razões para isso é a falta de explicitação e formalização do conhecimento que possibilite considerar os aspectos de construtibilidade nas decisões de projeto, assim como a falta de meios (por exemplo, bancos de dados com registros de lições aprendidas, melhores práticas do setor) para disponibilizar este conhecimento para as partes interessadas.

Também pode contribuir para a negligência aos requisitos de construtibilidade, o fato de que estes beneficiam principalmente os clientes internos do processo (agentes de produção). Os benefícios para os clientes externos (ou finais) são mais indiretos, repercutindo em termos de custo e qualidade do produto acabado, bem como na facilidade de manutenção do mesmo.

Além desses fatores, Tatum (1987) identificou a existência de algumas barreiras para a consideração dos aspectos de construtibilidade, tais como: resistência por parte dos arquitetos, que vêem tais esforços como intromissão e relutam em aceitar sugestões do pessoal de obra;

relutância do pessoal de obra em trabalhar no escritório; falta de pessoal qualificado e desconhecimento dos benefícios potenciais.

A escassez de indicadores de construtibilidade é uma das lacunas na literatura sobre o assunto, visto que poucos trabalhos se dedicaram ao desenvolvimento de indicadores para avaliar a construtibilidade. Russell et al. (1992), por exemplo, utilizaram a relação benefício/custo como indicador dos resultados obtidos com o esforço pela melhoria da construtibilidade. Entretanto, os dados necessários para o cálculo deste indicador são difíceis de obter, já que requerem a estimativa do custo evitado com a implementação de ações voltadas para a melhoria da construtibilidade. Somado a isso, este indicador não proporciona o apoio necessário à tomada de decisão durante a elaboração do projeto. Assim, cabe a proposição de novos indicadores que tenham formulação simples e que sejam fáceis de calcular e que, principalmente, sirvam como instrumento de apoio aos projetistas, antecipando potenciais problemas de construtibilidade.

Conforme constatado nos estudos de Radtke e Russell (1993), a implementação das abordagens identificadas por Russell et al. (1992) requer a introdução de procedimentos específicos no PDP. Entretanto, corroborando o trabalho de Saffaro et al. (2004), as ações voltadas à promoção da construtibilidade deveriam, de forma ideal, serem integradas às atividades do PDP, sem que procedimentos específicos para este fim fossem introduzidos neste processo. Deste modo, os requisitos de construtibilidade, seriam considerados no PDP, em conjunto com os demais requisitos do empreendimento (como, por exemplo, requisitos do cliente, funcionais e de desempenho), não constituindo em um esforço isolado conforme sugerem alguns autores (CII, 1987; ASCE, 1991; RADTKE e RUSSELL, 1993; ANDERSON et al., 2000; AASHTO, 2000).

Outro inconveniente relacionado à consideração dos requisitos de construtibilidade de forma desvinculada dos demais requisitos do produto, diz respeito ao fato de que a consideração dos requisitos de construtibilidade repercute, em alguns casos, em perda de valor para o cliente final, sendo necessária, portanto, uma análise de *trade-off*.

As abordagens identificadas nos estudos de Russell et al. (1992) dividem-se em informais e formais. De acordo com Gugel e Russell (1994), o nível de complexidade de um empreendimento é determinante na escolha da abordagem, de modo que quanto mais complexo, maior o nível de formalidade, assim como o número de atividades introduzidas no

PDP. No entanto, apenas as abordagens mais formais (programa de construtibilidade e revisão da construtibilidade) foram identificadas de forma detalhada na bibliografia consultada (RADTKE e RUSSELL,1993; AASHTO, 2000; ANDERSON et al. 2000), não contemplando, assim, as necessidades de empreendimentos de menor complexidade.

De fato, observou-se que os estudos sobre construtibilidade costumam abordar os problemas de grandes empreendimentos, como, por exemplo, estações de geração de energia elétrica (CII, 1987) e instalações petroquímicas (RUSSELL et al., 1992). Contudo, o CII (1987) esclarece que o porte da organização e o tamanho do empreendimento não são barreiras para a consideração da construtibilidade.

Embora trabalhos nacionais (OLIVEIRA, 1994; SANTOS, 2000; RODRIGUEZ e HEINECK 2003; SAFARO et al., 2004; RAUBER et al., 2005) tenham contextualizado os estudos sobre construtibilidade em empreendimentos de menor complexidade, apenas Rodriguez e Heineck, (2003) se dedicaram a propor diretrizes para consideração dos aspectos de construtibilidade no projeto do produto. Entretanto, as diretrizes propostas por aqueles autores concentram no coordenador do projeto a responsabilidade pela captura e disseminação dos requisitos de construtibilidade. Além disso, as diretrizes não enfatizam o envolvimento dos agentes de produção neste processo.

Assim, considerando os problemas com produtividade, qualidade e custo de produção do segmento de edificações, conforme destacado nos estudos do MDIC, bem como a escassez de estudos sobre meios para considerar os aspectos de construtibilidade em obras de menor complexidade, o presente trabalho se propõe a explicitar medidas que viabilizem a consideração daqueles aspectos nas atividades do PDP de obras repetitivas.

De acordo com Oliveira et al. (1998a), as obras repetitivas abrangem edificações como conjuntos prediais, conjuntos residenciais e prédios altos com mais de dez pavimentos. Além disso, pode-se dizer que estas obras são caracterizadas por uma **unidade de repetição** (por exemplo, uma casa ou um pavimento tipo) que, ao longo da etapa de construção, é replicada várias vezes. Outra particularidade destas obras, destacada por Oliveira et al. (1998b), diz respeito ao efeito aprendizado, cuja ocorrência possibilita aumentos expressivos de produtividade, através da repetição da execução de serviços na obra.

De acordo com Thomas et al. (1986), o tempo e o esforço consumidos para concluir atividades repetitivas diminui na medida em que o número de repetições aumenta. Esses autores acrescentam que existem várias razões que explicam a ocorrência do efeito aprendido, dentre as quais destacam-se: (a) familiarização com o trabalho; (b) melhoria na organização do trabalho; (c) desenvolvimento de técnicas e métodos mais eficientes; (d) menos alterações no trabalho, reduzindo modificações e retrabalhos. Assim, pode-se dizer que as obras de caráter repetitivo apresentam vantagem em relação aos demais tipos de obra no que diz respeito à consideração dos requisitos de construtibilidade, já que a repetitividade constitui um meio de facilitar o processo produtivo.

1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Com base nas discussões apresentadas anteriormente, surgem as seguintes questões de pesquisa:

- a) como considerar os aspectos de construtibilidade de forma integrada às atividades do PDP em obras repetitivas?*
- b) como entender a construtibilidade através de conceitos básicos de gestão da produção?*
- c) como a construtibilidade do projeto do produto e do processo pode ser avaliada?*

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo Principal

O objetivo principal da pesquisa é propor diretrizes para a consideração dos requisitos de construtibilidade, de forma integrada às atividades do PDP de obras repetitivas.

Objetivos Secundários

Como objetivos específicos de pesquisa propõem-se:

- a) estabelecer a relação entre o conceito de construtibilidade e outros conceitos de gestão da produção tais como: construção enxuta, engenharia simultânea, métodos DFX, racionalização construtiva e projeto para produção;
- b) propor e selecionar indicadores para avaliação da construtibilidade do projeto do produto e do processo.

1.5 DELIMITAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

Este trabalho possui as seguintes delimitações:

- a) foram investigados dois empreendimentos de condomínios horizontais, sendo que este tipo de obra constitui apenas um dos tipos de empreendimento contemplados entre aqueles ditos de caráter repetitivo;
- b) o trabalho não pretendeu testar os indicadores de construtibilidade selecionados nem estabelecer valores de referência (*benchmarks*) para o indicador proposto;
- c) o foco das investigações se manteve em como a construtibilidade é considerada no projeto do produto, tendo sido analisados apenas alguns aspectos do projeto do processo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. O primeiro consiste em uma introdução à dissertação na qual são apresentados o contexto, a justificativa, questões de pesquisa, objetivos e delimitações teóricas e práticas.

No segundo capítulo, são apresentados o conceito básico de construtibilidade, os princípios e as metodologias para a consideração da construtibilidade disponíveis na bibliografia. Também

são apresentados alguns modelos do PDP onde as características favoráveis à consideração da construtibilidade são destacadas. Além disso, é apresentada uma seleção indicadores de desempenho para avaliação da construtibilidade.

O capítulo 3 se destina a descrever o método de pesquisa. Nele são apresentados a estratégia, o delineamento e as principais etapas dos estudos de caso. Também são apresentadas as ferramentas, as fontes de evidência utilizadas, bem como e os critérios e variáveis de análise.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos estudos de caso e por último, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões, as diretrizes propostas e as recomendações para pesquisas futuras.

2.0 CONSTRUTIBILIDADE: CONCEITO, PRINCÍPIOS E METODOLOGIAS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como objetivos apresentar o conceito de construtibilidade, bem como os princípios e metodologias relacionadas a este conceito. Além disso, são apresentadas algumas abordagens disponíveis na bibliografia para consideração dos aspectos de construtibilidade durante o PDP, bem como métricas para avaliação da construtibilidade.

De modo geral, observa-se que os estudos na área (O'CONNER e TUCKER, 1986; O'CONNOR et al., 1987; CIL, 1993 apud JERGEAS et al., 2001; NIMA et al., 2002; FOX et al., 2002; RODRIGUEZ e HEINECK, 2003; SAFFARO et al., 2004) não utilizam uma terminologia uniforme para designar as contribuições que visam a promover a construtibilidade. Isso significa, por exemplo, que contribuições em um mesmo nível de abstração são denominadas por um autor de conceitos e por outro de princípios, diretrizes, ações ou até mesmo de regras de construtibilidade.

Visando a estruturar o conhecimento sobre construtibilidade, adotou-se neste trabalho, a mesma visão hierárquica proposta por Koskela (2000) para apresentar uma teoria de produção. De acordo com aquele autor, três níveis de abstração podem ser distinguidos no que diz respeito à consideração de uma teoria para gestão da produção, como pode ser visto na figura 1.

Com base no modelo hierárquico proposto por Koskela (2000), o conceito diz respeito ao conceito geral de construtibilidade proposto neste trabalho, enquanto os princípios podem ser entendidos como desdobramentos do conceito de construtibilidade e estão situados em um nível de generalização imediatamente inferior a esse. Já as metodologias, estão relacionadas a métodos, ferramentas, práticas e abordagens (KOSKELA, 2000) que incorporam os respectivos princípios, resultando em ações práticas para consideração dos aspectos de construtibilidade.

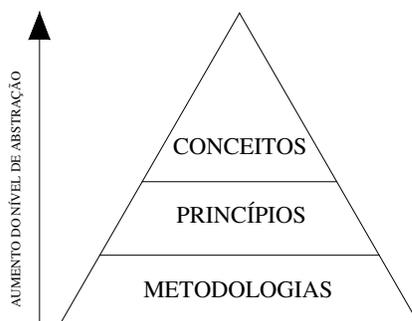


Figura 1: Estrutura hierárquica de uma teoria sobre produção (Fonte: KOSKELA, 2000)

Embora tenha havido um esforço para estruturar o conhecimento sobre construtibilidade de acordo com o modelo proposto por Koskela (2000), cabe reconhecer que há um grau de subjetividade, de modo que a diferença entre princípios e práticas nem sempre é tão evidente.

2.2 O CONCEITO DE CONSTRUTIBILIDADE

Na literatura consultada não foi encontrado um conceito único sobre construtibilidade, em particular no que diz respeito à abrangência do conceito. O conceito de construtibilidade surgiu no início dos anos 80 na Inglaterra e nos Estados Unidos. Embora nestes países fossem empregados termos distintos como “*buildability*” (termo europeu) e “*constructability*” (termo norte-americano), ambos se referem a uma mesma área de interesse na construção (STEHN e BJÖRNFOT, 2004).

Na Inglaterra, o termo “*buildability*” foi definido de acordo com o *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA³, 1983 apud SANTOS, 2000), como “a extensão pela qual o projeto de uma edificação facilita as atividades de construção levando em conta os requisitos globais da edificação construída”. Essa definição assume que intervenções nos projetos da edificação são essenciais para aumentar a facilidade de construir (WONG et al. 2004). Já nos Estados Unidos, o termo “*constructability*” foi definido pelo *Construction Industry Institute* (CII, 1986) como “o uso ótimo do conhecimento e da

³ CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH & INFORMATION ASSOCIATION. **Buildability:** An Assessment. London: CIRIA Publications, 1983.

experiência em construção no planejamento, projeto, contratação e trabalho no canteiro para atingir os objetivos globais do empreendimento”.

Como pode ser observado, o primeiro termo, *buildability*, restringe o esforço pela melhoria da construtibilidade ao projeto do produto. De outro lado, o segundo termo, *constructability*, amplia o escopo de atuação do esforço pela melhoria da construtibilidade, incluindo o planejamento, contratação e o trabalho no canteiro.

É importante destacar que o termo projeto pode se referir tanto ao projeto do produto (edificação) quanto ao do processo produtivo. Esse último está associado, entre outras, às atividades de planejamento da seqüência de execução, elaboração de cronogramas, planejamento do *layout* do canteiro, previsão de suprimentos e definição de máquinas e equipamentos a serem utilizados na etapa de execução. Entretanto, nesta dissertação, quando o termo projeto for usado isoladamente no texto, o mesmo se refere ao projeto do produto.

Já Oliveira (1994) define construtibilidade como a “forma de reduzir a complexidade técnica e gerencial existentes nos processos produtivos da construção civil, devido as suas características intrínsecas”. A construtibilidade de um edifício também pode ser definida simplesmente como a “capacidade ou habilidade deste em ser construído”, como proposto pela ASCE (1991).

Neste último conceito, a construtibilidade pode ser interpretada como uma propriedade inerente às construções. Deste modo, pode-se dizer que qualquer empreendimento da indústria da construção possui um determinado nível de construtibilidade, independente de terem sido implementadas ações com o objetivo de melhorar a construtibilidade.

No que diz respeito à abrangência do conceito, a revisão bibliográfica indica que há consenso entre os autores (CIRIA,1983 apud SANTOS, 2000; TATUM et al., 1986; O’CONNOR et al.,1987; RUSSEL et al.,1992; HALON e SANVIDO, 1995; RODRIGUEZ e HEINECK, 2003; ARDITI et al., 2002) de que as ações que visam melhorar a construtibilidade devem ser realizadas principalmente na fase de projeto. Isso é coerente com o fato de que decisões tomadas na fase de projeto exercem maior influência no custo final de uma edificação (CII, 1986), como ilustra a figura 2. No entanto, Saffaro et al. (2004), destacam que durante a etapa de elaboração do projeto do processo, também ocorrem decisões que repercutem na facilidade

de construir, tais como o planejamento da seqüência construtiva e a elaboração do *layout* do canteiro.

Deste modo, pode-se concluir que, embora reconhecendo o potencial do projeto na melhoria da construtibilidade, as ações que visam aumentar a construtibilidade não estão restritas apenas à definição das características físicas do produto no projeto, sendo possível também adotá-las no projeto do processo.

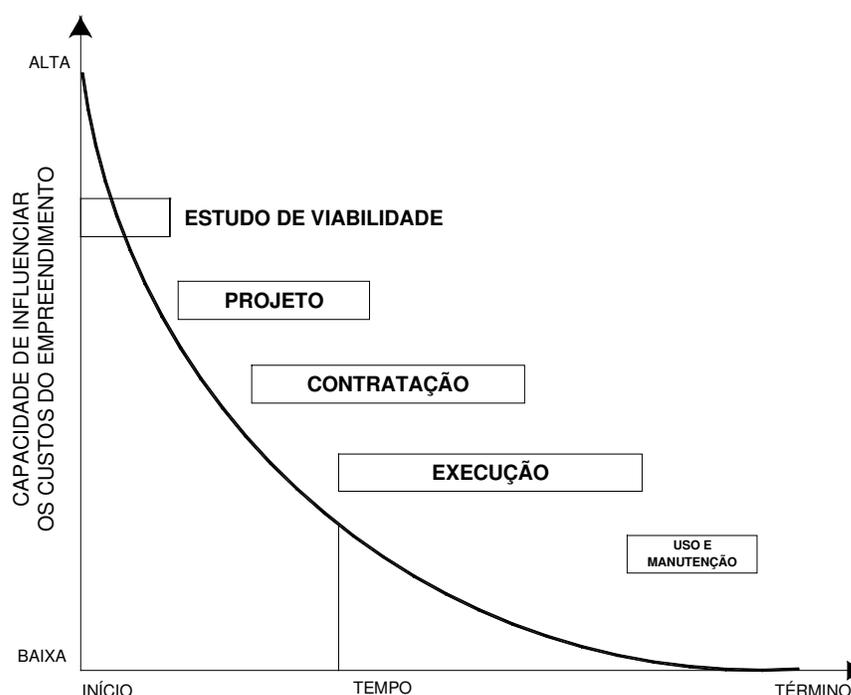


Figura 2: Capacidade de influenciar o custo final de uma edificação ao longo de suas fases (Fonte: CII, 1986)

Com base nas definições apresentadas anteriormente, neste trabalho é adotada a seguinte definição: construtibilidade é a facilidade com que uma edificação pode ser construída a partir da consideração dos requisitos do processo produtivo ao longo de todas as etapas de desenvolvimento do produto.

A partir da definição proposta, pode-se explicitar as seguintes características inerentes ao conceito de construtibilidade:

- a) é uma propriedade inerente ao projeto do produto e ao projeto do processo, sendo, portanto, passível de mensuração;

- b) constitui uma das dimensões da qualidade das soluções projetuais (FABRÍCIO, 2002);
- d) pode ser incrementada tanto através de melhorias nas atividades de conversão quanto nas atividades de fluxo;
- e) embora seus requisitos tenham impacto na etapa de construção e uso (facilitando as ações de manutenção), os mesmos devem ser considerados em etapas do PDP anteriores a essas;
- f) quanto mais cedo é iniciado o esforço pela melhoria da construtibilidade no PDP, maiores são os benefícios potenciais (CII, 1986);
- g) a consideração dos requisitos de construtibilidade visa a atender principalmente às necessidades dos clientes internos do processo (agentes de produção), agregando valor para os mesmos.

2.3 A CONSIDERAÇÃO DOS REQUISITOS DE PRODUÇÃO NO PDP EM OUTRAS INDÚSTRIAS

De acordo com Cunha (2003), é fato conhecido que o distanciamento entre as áreas de projeto e fabricação, propiciado pela elevação do nível de especialização requerida para execução de suas tarefas, particularmente verificado na indústria do pós-guerra, é hoje considerado um obstáculo à obtenção de produtos de boa qualidade sob o ponto de vista da facilidade de fabricação, de montagem, de inspeção e desmontagem. Aquele autor acrescenta que tal problema tem demandado, ao longo das últimas décadas, o surgimento de disciplinas especificamente voltadas à análise de produto em cada um desses temas, como, por exemplo, o projeto orientado à fabricação (*design for manufacturability, DFM*) e o projeto orientado à montagem (*design for assembly, DFA*) e o projeto orientado à montagem pelo homem (*design for human assembly, DHA*). A seguir cada um desses métodos é apresentado de forma sucinta.

2.3.1 DFM (*Design for Manufacturability*)

De acordo com Bralla (1998), o DFM é um método que engloba uma série de diretrizes, princípios ou recomendações a serem consideradas no projeto do produto, cujo objetivo principal é melhorar a manufaturabilidade do mesmo. Segundo aquele autor, a manufaturabilidade pode ser entendida como a facilidade com que um produto ou componente pode ser produzido.

Dentre os princípios que promovem a manufaturabilidade dos produtos apresentados por Bralla (1998), destaca-se o princípio da simplificação, que visa reduzir os custos de fabricação, pela redução do número de partes, simplificação da forma, precisão requerida em ajustes, bem como redução do tempo requerido na fabricação. Para Bralla (1998), o atendimento a estes fatores aumenta a confiabilidade do produto. Além da simplificação, este autor cita princípios associados à padronização de materiais e componentes, à ampliação das tolerâncias, entre outros.

De acordo com Bralla (1998), uma forma de avaliar diferentes alternativas de projeto em relação à manufaturabilidade, consiste em comparar o custo de fabricação das alternativas, de modo que, aquela com o menor custo será a mais fácil de fabricar. Além do custo, Bralla (1998) cita a estimativa e comparação do tempo requerido de mão-de-obra para a produção de cada alternativa de projeto, como meio de determinar aquela de fabricação mais fácil.

De acordo com Björnfot e Stehn (2004) há uma relação entre construtibilidade e manufaturabilidade. Para Sharma e Gao⁴ (2002) apud Björnfot e Stehn (2004) a construtibilidade pode ser vista na indústria da construção, tal como a manufaturabilidade na indústria manufatureira. Tanto a construtibilidade quanto a manufaturabilidade são características inerentes ao produto, sendo que o segundo termo está relacionado a produtos de outros setores industriais. Pode-se dizer que tanto uma quanto a outra são propriedades semelhantes, já que ambas dizem respeito à facilidade com que os produtos de suas respectivas indústrias podem ser construídos.

2.3.2 DFA (*Design for Assembly*)

Para Fox et al. (2002), métodos como o DFA têm prestado, em muitas indústrias, grandes contribuições no que diz respeito aos esforços para integrar as melhores práticas de produção no projeto. Além disso, aqueles autores acrescentam que esta iniciativa tem resultado em notável melhoria da produtividade e qualidade.

O método que facilita a montagem de produtos montados manualmente ou mecanicamente, DFA, pode ser definido como processo de análise sistemática que visa, principalmente, a redução dos custos de montagem de um produto pela simplificação do seu projeto. Esta simplificação é possível por meio da aplicação de um conjunto de princípios, tais como reduzir o número de partes e o número de partes diferentes, evitar necessidade de ajustes e projetar peças que sejam auto-alocáveis e alinháveis. No método DFA também é calculado um indicador de eficiência do projeto baseado no custo e tempo de execução das operações de montagem, o qual pode ser utilizado como parâmetro de comparação com outras soluções de projeto (BOOTHROYD e DEWHURST, 1989; TATIKONDA, 1994).

A análise é conduzida tipicamente pela equipe de projetistas e engenheiros de produção enquanto o produto ainda está sendo projetado. Essa análise ocorre a partir de uma proposta inicial de projeto do produto ou de um componente do produto, avaliando-se o custo e tempo de montagem de cada peça. Essa avaliação resulta em uma pontuação para cada peça, onde são penalizadas aquelas que consomem mais tempo e possuem maior custo de montagem. Esses pontos são agregados para determinação da eficiência de montagem do projeto. Em seguida, o produto é reprojetoado considerando os princípios do DFA e um novo valor é calculado para o indicador (TATIKONDA, 1994).

De acordo com Tatikonda (1994), a minimização do número de partes implica menos partes sujeitas a falhas e menos interfaces entre as partes. Esse é um aspecto importante, já que a interface entre cada parte é uma fonte potencial de falha. Além disso, o DFA garante que as partes remanescentes sejam facilmente montadas entre si. Os principais benefícios esperados com a aplicação do DFA são: redução do custo com material; redução do custo com mão-de-obra ou montagem automática; redução no tempo de ciclo das montagens e maior qualidade e confiabilidade do produto em função da redução da complexidade do mesmo. Outros

⁴ SHARMA,R.; GAO, J. A Progressive Design and Manufacture Evaluation System: Incorporating STEP AP224. *Computer in Industry*. Vol. 47, n. 2, p. 155-167, 2002.

benefícios indiretos podem decorrer da redução da complexidade do produto: estoques menores, menos custos com compras, menos manuseio do material, menos documentações, fluxo de materiais ordenado e melhorado (TATIKONDA, 1994).

Acreditando que os princípios do DFA poderiam ser úteis na promoção da construtibilidade, Fox et al. (2002) testaram os seguintes princípios do DFA como fonte para desenvolvimento de novos princípios de construtibilidade: assegurar acesso e visibilidade para cada operação e projetar peças de modo que estas não possam ser instaladas incorretamente. A experiência realizada por Fox et al. (2002) resultou em melhorias no projeto, bem como benefícios provenientes da redução do tempo e custo de produção, assim como redução dos custos com retrabalho. Aqueles autores sugerem que outros princípios do DFA também sejam investigados como fonte potencial de novos princípios de construtibilidade.

2.3.3 DHA (*Design for Human Assembly*)

De acordo com Hellander e Willén (1999), as estimativas de tempo utilizadas para avaliação de alternativas de projeto no DFA, não levam em conta o tempo requerido pelo homem para processar informações e tomar decisões. De acordo com aqueles autores, mesmo nas tarefas manuais mais simples e repetitivas, os operadores tomam decisões e isto consome tempo.

Tendo em vista que o objetivo geral do DFA é reduzir o tempo de montagem, os esforços devem levar em conta tanto o aspecto manual quanto mental das tarefas de montagem (HELLANDER E WILLÉN, 1999). De acordo com Hellander e Willén (1999), para um operador humano, existem três componentes sequenciais de tempo no processamento de informação e execução de uma tarefa: (a) percepção; (b) tomada de decisão; e (c) manipulação. Aqueles autores acrescentam que cada um destes tempos pode ser minimizado por meio de um bom projeto e que para cada um destes três componentes de tempo, existem diferentes métodos a serem considerados no projeto do produto.

Considerando o fato de que uma elevada parcela dos trabalhos conduzidos nos canteiros de obras é realizada manualmente, a consideração dos fatores humanos no projeto do produto também assume importante papel nos esforços para facilitar a construção. Deste modo, os

princípios e práticas associados ao DHA também podem servir de fonte para incrementar a construtibilidade dos produtos do setor da construção.

2.4 PRINCÍPIOS DE CONSTRUTIBILIDADE

Nesta seção são apresentados os princípios de construtibilidade identificados na bibliografia conforme os critérios apresentados no item 2.1, bem como as práticas associadas a esses princípios. Deste modo, as práticas e princípios apresentados nesta seção estão, respectivamente, associados aos níveis dois e três da pirâmide hierárquica. A figura 3 apresenta a relação dos princípios identificados, bem como os autores que defendem a aplicação destes como meio para promover a construtibilidade.

Entretanto, é importante ressaltar que os princípios apresentados na figura 3 não pretendem delimitar o escopo da construtibilidade, de modo que podem haver outros fatores com potencial para promover a construtibilidade que não tenham sido contemplados por estes princípios.

Nas seções de 2.4.1 até 2.4.7 são analisadas as implicações de cada princípio de construtibilidade no projeto do produto e no projeto do processo. Além disso, analisam-se os princípios quanto à contribuição destes na promoção de melhorias nas atividades de conversão e de fluxo. Deste modo, pretende-se verificar a aderência dos princípios à filosofia da produção enxuta, cuja essência consiste em equilibrar as melhorias nas conversões e nos fluxos (KOSKELA, 1992). Esta visão é oposta à tradicional ênfase da produção, que busca prioritariamente, implementar melhorias nas atividades de conversão.

Os princípios apresentados na figura 3 são discutidos com mais detalhes nas seções seguintes, assim como as práticas para implementação dos mesmos. Vale ressaltar que há uma sinergia entre esses princípios, de modo que a implementação de uma prática pode, ao mesmo tempo, beneficiar dois ou mais princípios.

PRINCÍPIOS DE CONSTRUTIBILIDADE		
	AUTORES	PRINCÍPIO
1	GRIFFTH ⁵ (1986) apud OLIVEIRA (1994); O'CONNOR e TUCKER (1986); O'CONNOR et al. (1987); BOOTHROYD & DEWHURST (1989); KOSKELA (1992); CII (1993) apud JERGEAS et al. (2001); OLIVEIRA (1994); NIMA et al. (2002)	Simplificar pela redução do número de partes e passos
2	GRIFFTH (1986) apud OLIVEIRA (1994); O'CONNOR e TUCKER (1986); O'CONNOR et al. (1987); BOOTHROYD & DEWHURST (1989); KOSKELA (1992); CII (1993) apud JERGEAS et al. (2001); OLIVEIRA (1994); NIMA et al. (2002); PASQUIRE e GIBB (2002)	Padronizar elementos do projeto e processos construtivos
3	O'CONNOR e TUCKER (1986); O'CONNOR et al. (1987); CII (1993) apud JERGEAS et al. (2001); OLIVEIRA (1994); NIMA et al. (2002); SAFFARO et al. (2004)	Promover acessibilidade para pessoas, materiais e equipamentos
4	CONNER et al. (1987); CII (1993) apud JERGEAS et al. (2001); O' NIMA et al. (2002)	Facilitar construção sob condições climáticas adversas
5	O'CONNOR e TUCKER (1986); CII (1993) apud JERGEAS et al. (2001); NIMA et al. (2002)	Otimizar os processos de construção
6	DUNSTON e WILLIAMSON (1999); SAFFARO et al. (2004)	Promover a manutenibilidade
7	HELLANDER e WILLÉN (1999)	Minimizar o tempo de percepção, decisão e manipulação das operações de montagem manual

Figura 3: Princípios de construtibilidade identificados na bibliografia

2.4.1 Simplificar pela redução do número de passos e partes

O princípio da simplificação é um dos mais citados pelos autores pesquisados. A ideia de simplificar com o objetivo de melhorar a eficiência do processo produtivo, também é citada como princípio da construção enxuta (KOSKELA, 1998) e do método DFM (BRALLA, 1998), DFA (BOOTHROYD e DEWHURST, 1989) e DHA (HELLANDER e WILLÉN, 1999). Enquanto nos métodos DFM, DFA e DHA a simplificação assume um significado mais restrito, voltado para a melhoria nas atividades de conversão, para a construção enxuta, a simplificação está relacionada tanto à melhoria nas atividades de conversão quanto nas de fluxos. Assim, de acordo com Koskela (1992), a simplificação compreende tanto a redução do número de componentes em um produto, quanto a redução do número de passos no fluxo de informações ou materiais.

⁵ GRIFFITH, A. **Buldability – the effect of design and management on construction**. In: CIB86. *Anais...*, Vol. 8, 1986, p. 3504-3512.

Deste modo, adotou-se neste trabalho o significado mais amplo da simplificação, ou seja, aquele que se relaciona tanto com a melhoria nas atividades de conversão quanto nas atividades de fluxo.

Para Koskela (1992) a principal motivação para simplificar os produtos ou processos é reduzir a complexidade, tendo em vista que esta tende a reduzir a confiabilidade. Esse autor considera que sistemas complexos são inerentemente menos confiáveis que sistemas mais simples, atribuindo isso parcialmente ao fato da capacidade do homem de lidar com complexidade ser limitada.

De fato, a simplificação é uma das principais formas de aumentar a construtibilidade e pode ser obtida, dentre outras, através das seguintes práticas:

- a) reduzir o número de passos e partes de um produto através de alterações no projeto ou uso de partes pré-fabricadas (KOSKELA, 1992);
- b) eliminar qualquer característica ou função do produto que não agregue valor para o cliente (BOOTHROYD & DEWHURST, 1989);
- c) incorporar vários componentes ou funções em um só elemento (O'CONNOR e TUCKER, 1986; OLIVEIRA, 1994). Por exemplo, pelo uso do *radier* que funciona tanto como fundação quanto laje de contra-piso;
- d) evitar recortes, ângulos, inclinações e superfícies curvas (SAFFARO et al., 2004);
- e) coordenar materiais dimensionalmente (FOX et al., 2002; GRIFFITH, 1986 apud OLIVEIRA, 1994);
- f) analisar a viabilidade de emprego de métodos de pré-fabricação, pré-montagem e modularização tão cedo quanto possível. Assim, as condições impostas por esses métodos podem ser contempladas na elaboração do projeto, quando for o caso (NIMA et al. 2002);
- g) utilizar materiais e componentes com conexões de fácil execução (por exemplo, ligações aparafusadas em vez de soldadas), com uso mínimo de profissionais especializados (O'CONNOR et al., 1987; OLIVEIRA, 1994);

- h) utilizar materiais e componentes que requeiram poucos cuidados em relação a condições de armazenamento e uso (O'CONNOR et al., 1987; OLIVEIRA, 1994);
- i) utilizar materiais facilmente disponíveis no mercado, com tamanho e configurações comuns (O'CONNOR et al., 1987; OLIVEIRA, 1994);
- j) empregar soluções de projeto que minimizem a interdependência entre atividades (O'CONNOR et al., 1987; OLIVEIRA, 1994) como, por exemplo, usando pré-fabricação para permitir a realização de atividades em paralelo dentro e fora do canteiro;
- k) eliminar atividades que não agregam valor do processo de execução KOSKELA (1992) (por exemplo: remanejamento de materiais dentro do canteiro).

2.4.2 Padronizar componentes e processos

De acordo com Pasquire e Gibb (2002), a padronização compreende o uso extensivo de componentes, métodos e processos com regularidade (frequência) e repetição. Para Koskela (1992) a padronização de atividades por meio da implementação de procedimentos padrões, resulta na redução da variabilidade tanto nas atividades de conversão quanto nas de fluxo.

O'Connor et al. (1987) afirmam que a padronização proporciona aumento da construtibilidade e destacam as seguintes vantagens associadas à padronização de elementos de projeto: (a) efeito aprendizado devido a repetitividade das operações no canteiro; (b) uma vez que há menor diversificação de materiais, a compra e administração destes é simplificada; (c) maior desconto na aquisição de materiais, já que são adquiridos volumes maiores de um mesmo material.

O'Connor et al. (1987) destacam que, para viabilizar a padronização dos elementos de projeto os projetistas deverão identificar elementos com potencial de padronização. Oliveira (1994) cita alguns exemplos de elementos de projeto com potencial de padronização:

- a) plantas: padronização e repetição de plantas ou de suas partes (por exemplo, padronização de tamanhos de quartos e tamanhos de salas);

b) detalhes de execução (por exemplo, esquadrias: posicionamento de caixilhos e vidros);

c) detalhes de elevação (por exemplo, repetição de alturas de portas e janelas).

Um aspecto importante a ser destacado em relação à padronização dos elementos do projeto diz respeito à viabilização do emprego de métodos construtivos como a pré-fabricação e a fabricação fora do local definitivo (*offsite fabrication*). Para que o emprego desses métodos seja viável sob o ponto de vista econômico, são necessárias grandes quantidades de componentes idênticos que justifiquem a produção em larga escala, tanto dentro quanto fora do canteiro. Deste modo, pode-se dizer que a padronização constitui-se em um pré-requisito para o emprego destes métodos construtivos que são apresentados em detalhes no item 2.5.4.

2.4.3 Promover acessibilidade para trabalhadores, máquinas e equipamentos

As dificuldades de acesso para trabalhadores, materiais e equipamentos podem causar sérios problemas ao processo produtivo, tais como atrasos no progresso das atividades, redução da produtividade e retrabalhos (O'CONNOR et al, 1987). Deste modo, o projeto do produto e do processo deve levar em conta a acessibilidade dos trabalhadores, materiais e equipamentos (O'CONNOR et al., 1987; O'CONNOR e TUCKER, 1986; CII, 1993 apud JERGEAS e VAN DER PUT, 2001; NIMA et al., 2002).

Observou-se que as práticas relacionadas à acessibilidade promovem melhorias relacionadas às atividades de fluxo. Dentre as práticas identificadas para melhoria da acessibilidade destacam-se as seguintes:

a) disponibilizar aos projetistas e planejadores da obra informações sobre quais os equipamentos de transporte e de execução dos serviços a serem utilizados, suas dimensões e espaços necessários para seus usos (O'CONNOR et al, 1987);

b) verificação de espaços mínimos aceitáveis de trabalho em torno do edifício e dos elementos construtivos (OLIVEIRA, 1994);

c) especificar, no *layout* do canteiro e no projeto arquitetônico, rotas de acesso bem definidas e demarcadas (O'CONNOR et al, 1987);

- d) definir e demarcar claramente os espaços para equipamentos e estoques de materiais (OLIVEIRA, 1994);
- e) construção de acessos definitivos o mais cedo possível, reduzindo a necessidade de andaimes e acessos temporários (OLIVEIRA, 1994);
- f) realização dos serviços de pavimentação de térreo o mais cedo possível, minimizando problemas com alagamentos e melhorando a circulação e uso de equipamentos (OLIVEIRA, 1994);
- g) utilização de seqüências executivas que minimizem interferências no local de trabalho e nas vias de circulação do canteiro (OLIVEIRA, 1994);
- h) utilização de maquetas e simulações para prever seqüências e congestionamentos de equipamentos e interações durante a execução (OLIVEIRA, 1994).

2.4.4 Facilitar a construção sob condições climáticas adversas

A interferência das condições climáticas adversas na produtividade das atividades (por exemplo, chuva e temperaturas extremas) é comum no setor da construção civil, no qual uma elevada parcela do trabalho é conduzido ao ar livre. As condições climáticas adversas exercem maior interferência nas obras horizontais, nas quais as atividades tendem a ficar mais expostas às intempéries, quando comparadas às obras verticais. Deste modo, quando os projetos facilitam a construção sob condições climáticas adversas, a construtibilidade também é aumentada (O'CONNOR et al, 1987; CII, 1993 apud JERGEAS e VAN DER PUT, 2001; NIMA et al., 2002).

Conforme pode ser visto a seguir, as práticas associadas a este princípio proporcionam melhorias tanto nas atividades de fluxo, quanto nas atividades de conversão. O'Connor et al. (1987) propõem as seguintes ações práticas para facilitar a construção sob condições climáticas adversas:

- a) reduzir o volume de atividades conduzidas ao ar livre, cuja qualidade possa ser afetada pelas condições climáticas (por exemplo, realizando tão cedo quanto possível os serviços de cobertura);
- b) maximizar o volume de trabalho conduzido fora do canteiro (por exemplo, pré-fabricando componentes);
- c) minimizar os efeitos das chuvas sobre o canteiro (por exemplo, realizando instalações de drenagem provisória no canteiro).

2.4.5 Otimização dos processos de construção

Embora o maior potencial para melhoria da construtibilidade ocorra durante a elaboração do projeto do produto, foram identificadas na bibliografia, algumas práticas que devem ser consideradas no projeto do processo. Tais práticas podem contribuir tanto para a melhoria da construtibilidade das instalações provisórias do canteiro (por exemplo, escritórios e almoxarifados) quanto para incrementar o nível de construtibilidade incorporado no projeto do produto. De modo geral, as práticas relacionadas a esse princípio, visam introduzir melhorias nas atividades de conversão.

As seguintes práticas podem ser implementadas com vistas à otimização dos processos de construção:

- a) inovar nos materiais e sistemas para construções temporárias ou implementar formas inovadoras de usar materiais e sistemas para construção temporária (CII, 1993 apud JERGEAS e VAN DER PUT, 2001; NIMA et al., 2002) como, por exemplo, utilizar containeres ou trailers como escritório da obra;
- b) modificar as ferramentas existentes ou introduzir novas ferramentas manuais que reduzam a intensidade do trabalho ou aumentem a mobilidade, segurança ou acessibilidade (NIMA et al., 2002);
- c) introduzir métodos inovadores no uso dos equipamentos disponíveis ou modificar o equipamento disponível para aumentar sua produtividade (NIMA et al. 2002; O'CONNOR e TUCKER, 1986).

2.4.6 Promover a manutenibilidade

Para Meier e Russell (2000) o conceito de manutenibilidade pode ser entendido como as características do projeto que proporcionam facilidade, segurança e economia no desempenho das atividades de manutenção. Para Dunston e Williamson (1999) o conceito de manutenibilidade é uma extensão lógica do conceito de construtibilidade, de modo que as decisões relacionadas a esta última, também podem repercutir na facilidade de manutenção na etapa de uso do empreendimento. Assim, esses últimos autores sugerem que as decisões relativas a construtibilidade também considerem a facilidade de manutenção. Além desses autores, Saffaro et al. (2004) também defendem a facilidade de manutenção como uma das dimensões da construtibilidade.

Entretanto, é importante destacar que nem todas as ações que visam considerar os aspectos de manutenção no projeto do produto têm relação com a promoção da construtibilidade. Deste modo, apenas as ações de manutenção que visam facilitar as atividades de substituição, bem como as atividades de renovação (reformas), fazem parte do escopo da construtibilidade.

Embora as ações de manutenção relacionadas à retificação (de patologias) envolvam atividade de construção, a mesma não foi sinalizada como relacionada à construtibilidade entendendo que, neste caso, o esforço deve ocorrer no sentido de preveni-las e não de facilitá-las.

A seguir são apresentados alguns exemplos de práticas a serem consideradas no projeto do produto, que facilitam as atividades de renovação e substituição:

- a) definir caminhos de acesso aos elementos considerando o transporte e remoção dos mesmos, bem como uso de equipamentos e ferramentas auxiliares (HEINECK e PETRUCCI, 1989);
- b) coordenar dimensionalmente componentes facilitando sua substituição (HEINECK e PETRUCCI, 1989);
- c) criação de tolerâncias adequadas entre os componentes (HEINECK e PETRUCCI, 1989);
- d) prever elementos que facilitem a instalação de equipamentos de segurança nas fachadas como, por exemplo, projetar ganchos na laje de cobertura para a

fixação das vigas de sustentação de andaimes suspensos ou cintos de segurança (SAURIN, 2005).

2.4.7 Minimizar os tempos de percepção, decisão e manipulação das operações de montagem

A partir da consideração dos princípios do DHA como associados à construtibilidade, pretende-se considerar o fator humano nas operações de montagem nos canteiros de obra, tendo em vista a elevada parcela de atividades realizadas manualmente. A seguir são apresentados exemplos de práticas que visam minimizar cada um dos três componentes de tempo (percepção, decisão e manipulação) inerentes às operações de montagem pelo ser humano, de acordo com Helander e Willén (1999).

a) Minimizar o tempo de percepção:

- assegurar visibilidade completa das partes e ferramentas;
- proporcionar discriminação visual utilizando diferentes formas, tamanhos e cores;
- proporcionar discriminação tátil utilizando diferentes tamanhos, texturas, entre outros.

b) Minimizar o tempo de decisão:

- facilitar a formação de um modelo mental da tarefa de montagem assegurando visibilidade;
- reduzir o tempo de reação de escolha através da minimização do número de componentes e partes, do uso de partes simétricas, integrando ou combinando partes sempre que possível;
- proporcionar resposta visual, auditiva e tátil que indiquem a conclusão de uma tarefa de montagem.

c) Minimizar o tempo de manipulação:

- usar partes que sejam fáceis de pegar e que não se entrelacem;
- projetar o processo para facilitar a pega das partes a serem montadas;
- evitar partes que se entrelacem ou enganchem utilizando peças com terminações fechadas;
- promover transferência de treinamento projetando novos produtos com pequenas modificações em relação a produtos anteriores, de modo que o

trabalhador possa aplicar a habilidade adquirida anteriormente na montagem de novos produtos.

2.5 METODOLOGIAS PARA CONSIDERAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE

O objetivo desta seção é apresentar métodos e práticas já consolidados, os quais, uma vez implementados, possuem grande potencial para aumentar a construtibilidade. A forma com que cada um destes métodos e práticas contribui para a promoção da construtibilidade também é discutida.

2.5.1 Racionalização Construtiva

Nesta seção é dada ênfase às práticas ou ações que visam a promover a racionalização e que possuam implicações na facilidade de construir.

Sabbatini (1989) conceitua a racionalização construtiva como *“um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases”*. A partir desta definição, fica claro que as ações que visam promover a racionalização construtiva, assim como aquelas relacionadas à promoção da construtibilidade, se aplicam tanto ao projeto do produto quanto ao projeto do processo.

Melhado (1994) destaca que a racionalização pode ser aplicada a qualquer método, processo ou sistema construtivo. A racionalização se caracteriza pelo fato de não exigir elevados investimentos, poder ser viabilizada por empresas de portes distintos, não estar condicionada à produção em grande escala e permitir adequação da produção às disponibilidades locais de recursos (FARAH, 1988⁶ apud NOVAES, 1996).

Melhado (1994) alerta para o fato de que a maior parte das medidas para racionalização tem de ser adotadas ainda na etapa de projeto devido a suas implicações quanto a dimensões, especificações e detalhes que são incorporados. Este autor cita a utilização de componentes

⁶ FARAH, M. F. S. **Diagnóstico Tecnológico da Indústria da Construção**: Caracterização Geral do Setor. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. São Paulo, PINI/IPT, 1988. p. 685-690.

padronizados e coordenados dimensionalmente como exemplos de medidas para racionalização que só podem ser adotadas no projeto.

Como meio de obter racionalização construtiva, Melhado (1994) também sugere o emprego de um número maior de componentes pré-fabricados, como no caso de vergas e contravergas. Embora essa medida possa levar a um aumento significativo da qualidade da vedação vertical, os componentes pré-fabricados, dependendo da sua quantidade e repetitividade, podem requerer grande precisão dimensional, além de atenderem a restrições em termos de peso, acabamento e custo (MELHADO, 1994). A racionalização construtiva também pode ser considerada no projeto do processo, como, por exemplo, por meio do emprego de bisnaga para aplicação de argamassa de assentamento na elevação de alvenarias.

O potencial da racionalização como instrumento de promoção da construtibilidade é defendido por Griffith (1986) apud Oliveira (1994), ao afirmar que a racionalização do projeto constitui-se em um dos aspectos de melhoria da construtibilidade.

Como pode ser observado, as ações propostas para promover a racionalização são muito semelhantes às aquelas propostas para promover a construtibilidade. Uma possível explicação para isso é o fato de que tanto a racionalização quanto a construtibilidade possuem objetivos semelhantes, ou seja, aumentar a eficiência do processo construtivo. No entanto, há diferença na ênfase que cada um desses referenciais (racionalização e construtibilidade) atribui aos diferentes aspectos a serem considerados para aumentar a eficiência do processo construtivo. Enquanto a racionalização enfatiza a otimização do emprego de recursos (materiais, humanos e tecnológicos, entre outros), a construtibilidade enfatiza a facilidade de execução como meio para aumentar a eficiência do processo construtivo.

2.5.1.1 Tecnologias Construtivas Racionalizadas (TCR)

Segundo Barros e Sabbatini (2003) uma maneira eficaz de considerar os requisitos de produção desde o início da etapa de projeto é através da implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas (TCR), as quais podem ser entendidas como *“um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, empregados na criação, produção e difusão de um modo específico de construir um edifício ou uma parte deste orientado pela otimização do emprego de recursos envolvidos em todas as fases de construção”*.

Assim, pode-se dizer que as tecnologias construtivas racionalizadas são uma aplicação da racionalização construtiva que relacionada ao emprego de técnicas, métodos ou sistemas construtivos que levem em conta a otimização dos recursos envolvidos. A seguir, é apresentado um exemplo de TCR, no qual é possível verificar a importância de considerar, desde a etapa de projeto, a tecnologia construtiva a ser utilizada, bem como a sinergia existente entre a otimização dos recursos e a facilidade de construir.

Alvenaria Estrutural: um exemplo de TCR

Edificações em alvenaria estrutural têm como característica possuir elementos que funcionam ao mesmo tempo como estrutura e vedação (figura 4). Assim, as paredes do edifício devem atender aos requisitos arquitetônicos e estruturais simultaneamente, havendo uma forte interação entre esses dois subsistemas. Da mesma forma, soluções para as instalações hidráulicas e elétricas que incluem a execução de rasgos em paredes ou improvisos não são possíveis, pois comprometem a segurança da edificação. (PARSEKIAN e FURLAN JUNIOR, 2003).

A exigência de planejar a modulação das paredes para evitar quebra dos blocos é outro aspecto que favorece tanto a racionalização (por evitar desperdício de materiais) quanto a construtibilidade (por eliminar necessidade de ajustes nas dimensões dos blocos durante assentamento). Assim, pode-se dizer que projetos que utilizam a alvenaria estrutural como sistema construtivo, têm forte vocação para serem racionalizados desde a concepção (PARSEKIAN e FURLAN JUNIOR, 2003).

Além dos benefícios citados anteriormente, Nakamura (2003a) destaca outras duas vantagens em termos de facilidade de execução propiciadas pela alvenaria estrutural: (a) a regularidade dos blocos possibilita a redução dos revestimentos, uma vez que chapisco e emboço podem ser dispensados sem prejudicar o acabamento das paredes; e (b) por proporcionar estrutura mais lisa, sem sobressalências de pilares e vigas, a alvenaria estrutural minimiza cortes em revestimentos cerâmicos colaborando com a uniformidade do ambiente.

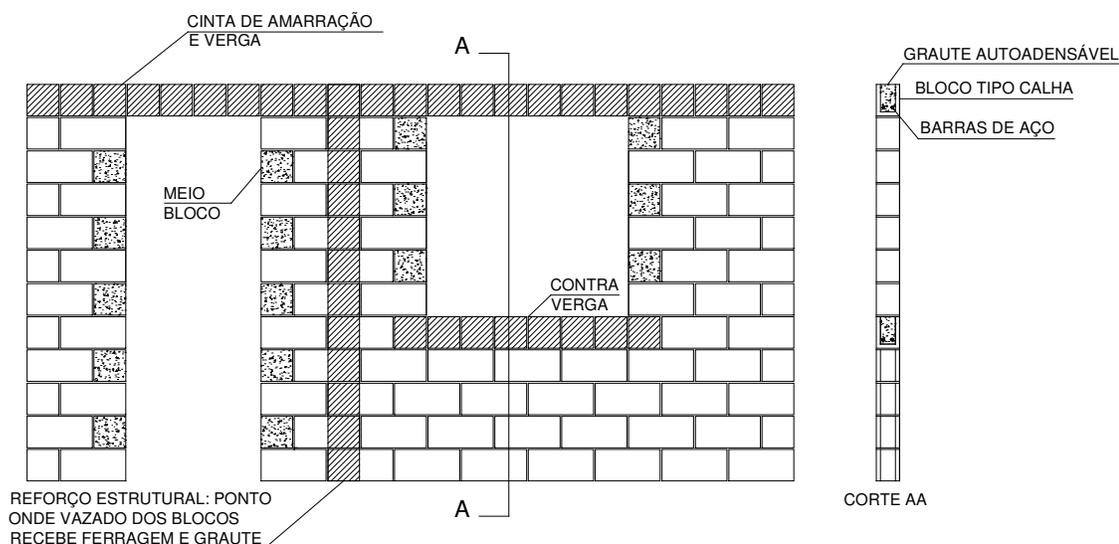


Figura 4: Parede em alvenaria estrutural

Como pode ser observado no exemplo da alvenaria estrutural, o processo impõe vários condicionantes tecnológicos que devem ser considerados tanto no projeto quanto nos procedimentos de execução. Neste caso, o projeto também deve assumir papel de veículo transmissor de um modo específico de construir, para que os benefícios potenciais incorporados na etapa de projeto sejam efetivados na fase de execução. Esta visão mais abrangente do projeto é discutida na seção a seguir, com a apresentação do conceito de projeto para produção.

2.5.2 Projeto para Produção

O processo de projeto de edificações é marcado por uma série de incertezas, quer acerca das características do produto (por exemplo, projeto do produto com especificações incompletas ou com informações conflitantes), quer acerca das atividades produtivas (por exemplo, ausência de definições de procedimentos de execução) (FABRÍCIO & MELHADO, 1998). Os projetos que chegam ao canteiro são costumeiramente denominados “conceituais”, contendo, na maioria dos casos, apenas a definição do produto e os dimensionamentos necessários, porém não revelando como a produção deve ocorrer (BARROS e SABBATINI, 2003). O fato dos projetos comumente apresentarem informações incompletas, seja na composição ou no detalhamento, tem conduzido a baixos níveis de construtibilidade (NOVAES, 1998) gerando acentuada improvisação em obra (FABRÍCIO e MELHADO, 1998).

O nível de detalhamento dos projetos, bem como a clareza das informações disponibilizadas nos mesmos, são determinantes para o desempenho do projeto na fase de execução dos serviços. Deste modo, a elaboração do projeto deve levar em conta duas perspectivas: a do produto e a do processo. A atividade de projetar não pode ser resumida à caracterização geométrica e das especificações de acabamento do produto desejado. Uma série de dados relacionados ao processo de produção deve ser disponibilizada como parte das informações que compõem o conjunto de elementos de projeto (MELHADO e AGOPYAN, 1995).

Segundo Aquino e Melhado (2001), o projeto para produção vem se destacando como elemento de integração entre o projeto e a execução das obras, sendo crescentemente utilizado por diversas empresas construtoras e objeto de estudo por parte de vários pesquisadores (NOVAES 1998; FRANCO e KAMEI 2001; FABRÍCIO e MELHADO 2003).

De acordo com Melhado (1994) dentre os objetivos do projeto para a produção, estão os seguintes: (a) a especificação das seqüências dos serviços durante as atividades de execução da obra; (b) definição das composições das equipes de trabalhadores para as atividades; (c) a disposição das instalações provisórias e a organização do canteiro; e (d) permitir maior construtibilidade, bem como uma integração mais estreita entre os projetos e as potencialidades produtivas da empresa.

De forma complementar, projetos para produção devem também ser elaborados com enfoque no produto, contemplando a caracterização dos elementos construtivos horizontais e verticais, de forma a antecipar, no projeto, a completa integração dimensional, produtiva e tecnológica de componentes e subsistemas (NOVAES, 1998). A figura 5 apresenta alguns dos possíveis projetos para produção relacionados as suas respectivas áreas técnicas.

De acordo com Novaes (1998), uma parcela dos projetos para produção deve ser elaborada em paralelo com a elaboração do projeto do produto (projeto de vedação, por exemplo), possibilitando a troca de informações entre os mesmos. Outra parcela, destinada a caracterizar os procedimentos de execução (projeto de concretagem, por exemplo), deve ser elaborada durante o planejamento da produção, servindo-se das informações contidas nos projetos do produto e da produção, elaborados anteriormente. Segundo aquele mesmo autor, a responsabilidade pela elaboração do projeto para produção fica dividida entre profissionais de projeto, bem como agentes da produção ligados à empresa construtora, pela maior

proximidade destes com as particularidades dos procedimentos produtivos e com a potencialidade da empresa, em termos, por exemplo, de recursos humanos e equipamentos.

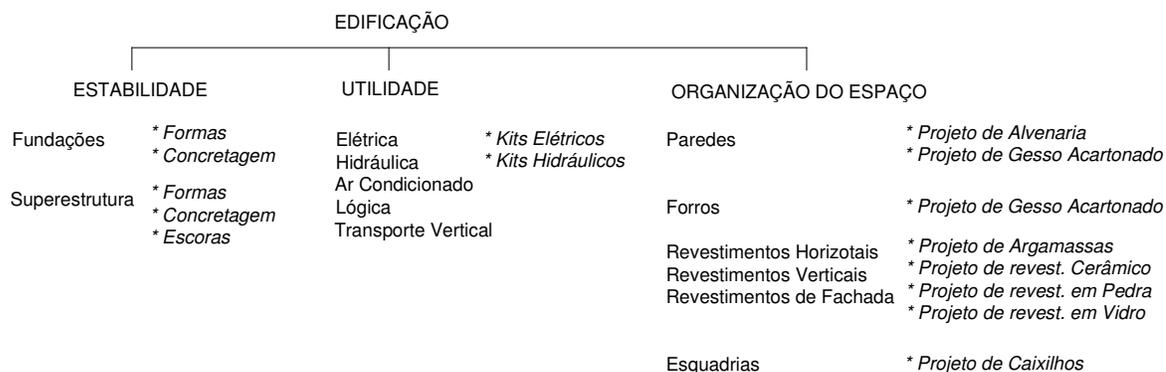


Figura 5: Possíveis Projetos para Produção
(Fonte: Codinhoto et al., 2004)

No trabalho desenvolvido por Aquino e Melhado (2001) foram propostas algumas premissas para elaboração dos projetos para produção, dentre as quais destacam-se:

- a) o projeto para produção deve conter elementos suficientes para orientar a execução, definindo materiais, seqüência de execução e equipes de serviço, não se constituindo em mais uma disciplina de projeto com enfoque no produto;
- b) deve ter seu desenvolvimento iniciado juntamente com as demais disciplinas do projeto;
- c) deve permitir uma adequada comunicação entre o projeto e a obra, com linguagem adequada e objetiva, sendo desenvolvido com o envolvimento dos agentes de produção, adicionando ao projeto considerações relativas à construtibilidade;
- d) o sistema de comunicação entre agentes de projeto e obra deve permitir que o projetista e construtores interajam, impedindo que decisões extra-projeto sejam tomadas de forma isolada pela equipe de execução.

O projeto para produção desenvolvido segundo estas premissas constitui-se em importante ferramenta na promoção da integração entre projeto e produção e conseqüentemente, da

construtibilidade. Além disso, o projeto para produção inclui uma proposta de desenvolvimento colaborativo do projeto. Assim, as decisões também passam pelo crivo dos agentes de produção, permitindo que o projeto esteja mais adequado às condições do canteiro, bem como da tecnologia construtiva disponível.

2.5.3 Coordenação Dimensional

Em virtude dos empreendimentos do setor da construção serem únicos, em geral, não é viável sob o ponto de vista econômico a fabricação sob medida de todos os componentes que constituem uma edificação. Deste modo, com frequência há necessidade de ajustar as dimensões dos materiais padrão disponível no mercado às dimensões do projeto do produto, gerando desperdício de material e tempo (FOX et al., 2002).

A principal estratégia para minimizar a necessidade de cortes é a coordenação dimensional ou coordenação modular, a qual vem sendo apontada como meio para atingir tanto os objetivos da racionalização construtiva (NOVAES, 1996; ANDRADE et al., 2001) quanto os objetivos da construtibilidade (GRIFFITH 1986 apud OLIVEIRA, 1994).

A coordenação das dimensões dos componentes de construção em projeto objetiva compatibilizar dimensionalmente, de forma racional, os ambientes de uma edificação e seus invólucros. Quando a coordenação dimensional faz uso de uma dimensão básica para coordenar o tamanho de todos os componentes e equipamentos do edifício, ela passa a ser regida por um módulo (ANDRADE et al., 2001). Logo, a coordenação modular é um instrumento geométrico, físico e econômico que tem por função compatibilizar dimensionalmente os espaços, disponíveis e ocupados, de uma edificação (ANDRADE et al., 2001).

Um exemplo simples de coordenação dimensional seria a paginação do piso cerâmico de um ambiente, de modo que um número inteiro de placas possa ser assentado, sem a necessidade de recortes, tanto no sentido do comprimento quanto da largura do ambiente. Para isso, o projetista poderá projetar o ambiente com dimensões tais que sejam múltiplas das dimensões comerciais dos pisos disponíveis no mercado.

2.5.4 Pré-Fabricação, Pré-Montagem, Modularização e Montagem Fora do Local Definitivo (PPMOF)

De acordo com o CII (2002) a pré-fabricação, pré-montagem, modularização e fabricação fora do local de definitivo (PPMOF, sigla em inglês) são métodos de construção que quando devidamente empregados podem vencer barreiras impostas ao empreendimento, tais como construir em condições climáticas adversas, falta de mão-de-obra especializada e cronogramas apertados.

Vários autores (O'CONNOR e TUCKER, 1986; TATUM⁷, 1987 apud ASCE, 1991; ASCE, 1991; CII, 1993 apud JERGEAS e VAN DER PUT, 2001; NIMA et al., 2002) apontam o empregos desses métodos como meio para aumentar a construtibilidade. De acordo com CII (2002) estes métodos podem ser definidos da seguinte forma:

Pré-fabricação: é um processo de manufatura, comumente instalado em uma fábrica especializada, no qual vários materiais são reunidos para formar um componente de uma instalação final, como, por exemplo, peças de concreto armado pré-fabricadas (vergas, contravergas, lajes, vigas, etc.);

Pré-montagem: é um processo no qual vários materiais, componentes pré-fabricados e/ou equipamentos são montados em local afastado para serem instalados posteriormente como uma sub-unidade. Um exemplo é a montagem dos elementos que compõem uma tesoura metálica para posterior instalação na posição final;

Fabricação em local diferente da instalação final: é a prática de pré-montagem ou fabricação de componentes tanto dentro quanto fora do canteiro, porém em local diferente da posição final de instalação. Deste modo, os exemplos anteriores também são válidos para a fabricação em local diferente da instalação final.

Módularização: é o resultado de uma série de operações de montagem realizadas em locais afastados que podem incluir porções de vários sistemas. Normalmente, é a maior unidade ou componente transportável de uma instalação como, por exemplo, banheiros prontos.

⁷ TATUM, C. B. **Constructability Improvement using Prefabrication, Preassembly and Modularization.** Stanford University, 1987. (Report to the Construction Industry Institute).

Como pode ser observado a partir das definições citadas, há uma sobreposição entre os conceitos, de modo que um método pode ser absorvido por outro. A figura 6 ilustra essa idéia, assim como também demonstra a relação de complexidade de implementação entre os métodos.

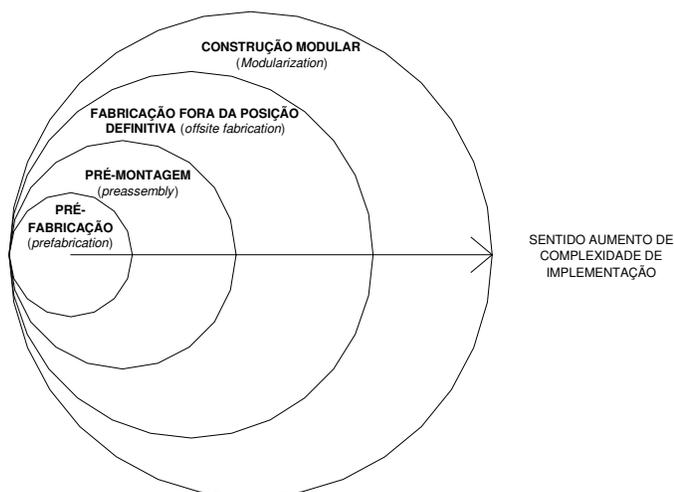


Figura 6: Relação entre os métodos PPMOF

Para exemplificar a relação ilustrada na figura 6, é utilizado o exemplo do banheiro pronto fornecido em módulos. De acordo com Nakamura (2003b) estes banheiros chegam prontos no canteiro, bastando apenas serem içados até a laje por grua ou guindaste. Em seguida, são transportados até o local definitivo com auxílio de um carrinho destinado a este fim e então são incorporados à estrutura, como ilustra a figura 7.

As paredes, piso e teto dos banheiros podem ter diferentes composições: concreto convencional armado, concreto reforçado com fibra de vidro (GRFC, em inglês), ou gesso acartonado (NAKAMURA, 2003b). Assim, paredes, piso ou laje de concreto produzidos sob medida, constituem exemplos de pré-fabricação, enquanto as operações de montagem no interior da fábrica são exemplos de pré-montagem. A soma destas operações de montagem resulta em um módulo, ou maior unidade pronta, possível de ser transportada até a posição final.

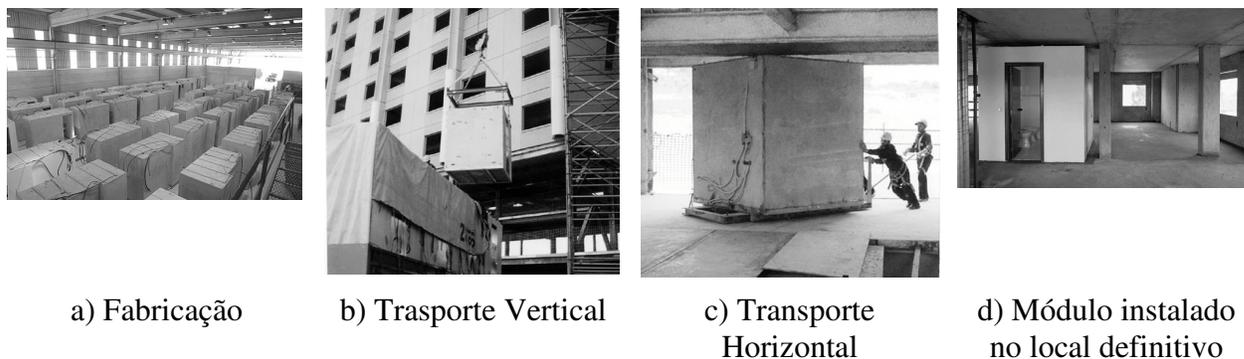


Figura 7: Fabricação e instalação de banheiros pré-fabricados
(Fonte: www.montanahidrotécnica.com.br)

2.5.4.1 Benefícios e condicionantes do uso dos métodos de PPMOF (CII, 2002)

Pesquisas anteriores realizadas pelo CII (TATUM et al., 1987; CII, 1992; CII, 1995), buscaram analisar os benefícios, barreiras e requisitos para implementar os métodos PPMOF. O emprego desses métodos normalmente reflete em benefícios em termos de custo, impacto ambiental, gestão de riscos, prazo, qualidade e segurança, conforme apresentado abaixo:

- a) redução dos custos devido a maior produtividade obtida dentro de instalações fabris em comparação àquela obtida no canteiro, bem como à padronização dos projetos;
- a) redução da infra-estrutura no canteiro, dos desperdícios com materiais, do fluxo de trabalhadores no canteiro e dos impactos causados a comunidade local, como poeira e barulho, já que parte dos trabalhos são transferidos para fábricas;
- b) maiores chances de cumprir prazos programados, tendo em vista que o trabalho conduzido em instalações fabris sofre menos interferências das condições climáticas, impactos ambientais e das diferentes frentes de trabalho;
- c) redução no prazo de execução do empreendimento, já que o trabalho do canteiro é realizado em paralelo com uma ou mais fábricas;
- d) melhor controle de qualidade na fabricação de componentes devido às condições controladas de manufatura;

- e) menos riscos em termos de segurança são impostos aos trabalhadores, já que boa parte do trabalho é conduzido ao nível do solo;
- f) redução do número de trabalhadores resulta em menos congestionamentos no canteiro.

Embora os benefícios que impulsionam o uso de PPMOF sejam claros, a decisão de implementação deve considerar o equilíbrio entre benefícios potenciais, riscos e barreiras. De acordo com o CII (2002), dentre as dificuldades encontradas por aqueles que utilizam tais métodos destacam-se a coordenação de múltiplos canteiros, a gestão das interfaces entre elementos produzidos no canteiro e em instalações fabris, considerações acerca do transporte de elementos construtivos e a reduzida flexibilidade para realizar mudanças no projeto, já que o uso destes métodos requer escopo bem definido desde as etapas iniciais do projeto.

Além destes, o CII (2002) destaca outros fatores que condicionam o uso dos métodos PPMOF:

- a) o tipo de transporte, bem como a rota, impõem limitações de peso e tamanho às peças manufaturadas por meio do PPMOF;
- b) o emprego destes métodos requer maior envolvimento com coordenação de projeto e transporte;
- c) para obter coordenação de múltiplos canteiros com cronogramas rígidos, é imprescindível que haja também um canal de comunicação eficiente entre proprietários, engenheiros, construtores e fornecedores.

2.6 CONSIDERAÇÃO DOS ASPECTOS DE CONSTRUTIBILIDADE NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Nesta seção é apresentado o conceito de engenharia simultânea, seus objetivos, princípios, suas implicações para o setor da construção e contribuições para promoção da construtibilidade. Além disso, são abordados alguns modelos do processo de desenvolvimento de produto, onde são destacadas as características que mais favorecem a construtibilidade.

Também são apresentadas abordagens existentes na bibliografia para consideração da construtibilidade no PDP.

2.6.1 Engenharia Simultânea

Nas empresas nas quais o modelo seqüencial é adotado, o projeto segue uma trajetória linear passando pelas diferentes áreas funcionais da empresa. Cada setor, após executar sua parte do projeto, transfere os documentos produzidos para o setor seguinte, onde a avaliação do que foi realizado é feita (NAVEIRO et al., 2001). Esse modelo é ineficiente, uma vez que exige retrabalho quando falhas ou incompatibilidades das etapas anteriores são detectadas (CASAROTTO FILHO et al. 1999; NAVEIRO et al., 2001). Assim, várias empresas de setores industriais tecnologicamente de ponta têm desenvolvido os seus produtos e processo de forma integrada e colaborativa, através de uma metodologia denominada Engenharia Simultânea (ES) (FABRÍCIO e MELHADO, 2003).

A engenharia simultânea (*concurrent engineering*) surgiu originalmente na indústria manufatureira no início da década de oitenta (FABRÍCIO e MELHADO, 2003). Para Kamara et al. (2002), a abordagem da ES pretende fazer com que aqueles envolvidos com desenvolvimento do produto considerem, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, incluindo qualidade, custo, prazo e outros requisitos dos usuários. Para Koskela (1992), o termo se refere ao processo de projeto melhorado, caracterizado pela rigorosa análise de requisitos, incorporando as restrições de fases subseqüentes na fase conceitual.

2.6.1.1 Objetivos e Principais Características da ES

Cunha (2003) e Fabrício (2002) destacam como um dos principais objetivos a diminuição do tempo de desenvolvimento de um novo produto visando o lançamento de novas tecnologias, produtos e serviços antes da concorrência. De acordo com Fabrício (2002) busca-se, dessa forma, uma ampliação da competitividade da empresa, pela maior agilidade no atendimento a novas demandas de mercado. Cunha (2003) acrescenta que em decorrência da diminuição do tempo de desenvolvimento do produto pode haver também redução do seu custo de desenvolvimento.

Além desses, foram identificados como objetivos da ES a redução do número de problemas causados pela separação entre as áreas de projeto e fabricação (CUNHA, 2003), a ampliação da manufaturabilidade dos produtos e o aumento de eficiência dos processos produtivos de bens e serviços (FABRÍCIO, 2002).

Para atingir os objetivos da ES um conjunto de princípios básicos deve ser observado. A esse respeito, existem diversas propostas motivadas principalmente pelo fato de que a ES vem sendo aplicada em diferentes contextos e com diferentes interesses (CODINHOTO, 2003). De acordo com Fabrício (2002) os objetivos e os meios utilizados podem se alternar em função do ambiente em que a ES é empregada. Alguns destes princípios são apresentados a seguir:

Formação de equipes multidisciplinares: para Kamara et al. (2002), Anumba et al. (2000), Fabrício (2002) e Cunha (2003), a ES é estruturada em torno de equipes multidisciplinares que envolvem profissionais de diferentes setores, desde a área de desenvolvimento conceitual até à de assistência técnica e manutenção dos produtos.

Realização de atividades em paralelo: de acordo com Kamara et al. (2002), Anumba et al. (2000), Fabrício (2002) e Cunha (2003) a realização de várias etapas do processo de desenvolvimento de produto em paralelo visa, além da redução do tempo de projeto, ampliar a integração entre as interfaces de projetos.

Deste modo, uma atenção especial é dada para o desenvolvimento do processo de produção (por meio da seleção da tecnologia de produção, realização de projetos para produção e o planejamento da produção), simultaneamente à concepção e projeto do produto (FABRÍCIO et al., 2002).

Consideração das questões relacionadas ao ciclo de vida nas etapas iniciais do PDP: de acordo com Kamara et al. (2002) e Fabrício (2002), a importância de valorizar as fases iniciais da concepção do produto está baseada no reconhecimento de que a antecipação de questões que afetam o produto ao longo de seu ciclo de vida reduz o número de correções e retrabalhos ao longo do processo.

Comunicação transparente e eficaz: para Koskela e Huovila (1997) a eficácia na troca de informações envolve introdução de ferramentas necessárias ao fluxo contínuo de informações relevantes e exatas, entre as equipes ao longo do desenvolvimento do produto. Essas ferramentas, dentre outras funções, são voltadas à identificação e tradução dos requisitos dos

clientes, ao intercâmbio rápido e eficaz de informações, à interação das equipes, à coordenação da cadeia de suprimentos e à melhoria contínua. Neste sentido, Fabrício (2002) destaca que a ES freqüentemente é associada à utilização intensiva da informática e das telecomunicações como ferramenta de apoio às decisões e à interação entre as especialidades.

2.6.1.2 Considerações sobre Aplicação da ES na Construção Civil

Atualmente, há uma grande aceitação de que o conceito de ES é relevante para o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Também é reconhecido que a implementação dos princípios da ES, através do uso de várias técnicas, ferramentas e tecnologias (por exemplo, *Quality Function Deployment* (QFD), *Design for Manufacturability* (DFM) e *Design for Assembly* (DFA), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), CAD e CAE), contribui para implementação das melhorias necessárias tanto no processo de construção quanto na qualidade dos produtos da construção (KAMARA et al. 2002).

A implementação de princípios da ES é fundamental para criação de um ambiente organizacional favorável à melhoria da construtibilidade. Tendo em vista que um dos principais objetivos da ES consiste na antecipação, desde as etapas iniciais do PDP, de todas as questões relacionadas ao ciclo de vida do produto, pode-se dizer que a construtibilidade se refere à antecipação dos aspectos relacionados à etapa de produção. Neste sentido, a construtibilidade constitui-se em parte do esforço para a consideração dos elementos do ciclo de vida do produto, cabendo a ela o papel de explicitar e disseminar os requisitos associados ao processo produtivo no PDP.

2.6.2 Modelos do PDP na Construção de Edificações

Tendo em vista contextualizar a construtibilidade no âmbito do PDP, neste trabalho foram pesquisados alguns dos modelos de desenvolvimento de produto propostos para a construção de edificações (TZORTZOPOULOS, 1999; ABNT⁸, 1995 apud FABRÍCIO, 2002; AsBEA⁹

⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13531: Elaboração de Projetos de Edificações** – atividades técnicas, Rio de Janeiro, 1995.

2000 apud FABRÍCIO, 2002; SILVA, 2003). A figura 8 apresenta as etapas do PDP proposta pelos autores pesquisados.

Como critério de escolha, buscou-se identificar nos modelos, características que favorecessem a consideração dos aspectos de construtibilidade, tais como:

- a) grande abrangência do PDP, estendendo-se até a etapa de uso e manutenção da edificação (TZORTZOPOULOS 1999; AsBEA 2000 apud FABRÍCIO, 2002; SILVA 2003);
- b) seleção tecnológica prevista em atividades anteriores ao lançamento dos projetos (TZORTZOPOULOS 1999; SILVA, 2003);
- c) existência de atividades de análise/aprovação das soluções parciais de projeto em pontos pré-determinados do PDP (TZORTZOPOULOS, 1999; SILVA, 2003);
- d) acompanhamento técnico dos projetistas durante e após a etapa de construção (TZORTZOPOULOS, 1999; AsBEA 2000; SILVA, 2003);
- e) interação entre agentes de projeto e produção nas etapas do PDP anteriores à construção (TZORTZOPOULOS, 1999);
- f) desenvolvimento de projetos para produção (TZORTZOPOULOS, 1999; SILVA, 2003);
- g) desenvolvimento simultâneo de atividades na etapa do projeto executivo (TZORTZOPOULOS, 1999; SILVA, 2003);
- h) registro e análise de dados (como alterações de projeto e retrabalhos) coletados ao longo da etapa de construção com a finalidade de retroalimentar novos empreendimentos (TZORTZOPOULOS, 1999; SILVA, 2003).

Embora as atividades de coordenação e compatibilização de projetos sejam importantes sob o ponto de vista da construtibilidade no PDP, essas não foram citadas entre as características

⁹ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA (AsBEA). **Manual de Contratação dos Serviços de Arquitetura e Urbanismo**. 2ed. São Paulo: PINI, 2000.

demandadas por serem consideradas atividades intrínsecas ao PDP e, portanto, comuns a todos os modelos pesquisados.

Sendo assim, o modelo escolhido foi o proposto por TZORTZOPOULOS (1999), por atender a todas as características identificadas como favoráveis à consideração da construtibilidade. Além disso, esse modelo sugere o envolvimento dos agentes de produção desde as etapas iniciais do PDP, sendo este um aspecto muito valorizado pelos autores (CII, 1987; ASCE, 1991; RADTKE e RUSSELL, 1993) no que diz respeito à promoção da construtibilidade.

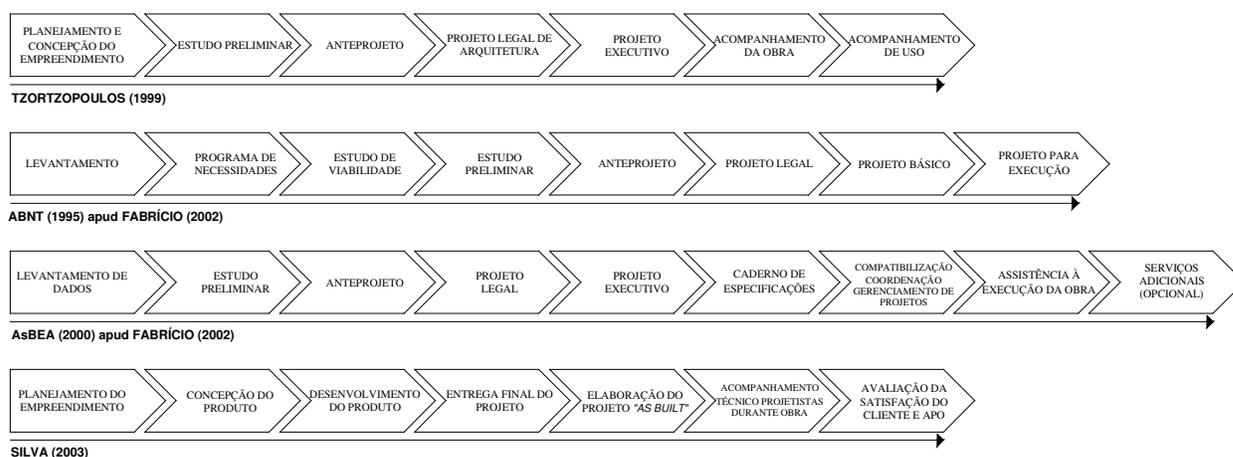


Figura 8: Divisão do PDP em etapas segundo autores os pesquisados

2.6.3 Abordagens para consideração da construtibilidade

Nesta seção são apresentados os esforços de vários autores (CII, 1987; ASCE, 1991; RUSSELL et al., 1992; GUGEL e RUSSELL, 1994; ANDERSON et al., 2000; AASHTO, 2000), com vistas à consideração dos aspectos de construtibilidade no PDP.

Nos estudos de Russell et al. (1992), foram identificadas oito abordagens para consideração dos aspectos de construtibilidade no PDP. Em geral, essas abordagens dizem respeito ao meio pelo qual as informações sobre construtibilidade podem ser disponibilizadas para membros envolvidos no desenvolvimento do empreendimento. De acordo com Gugel e Russell (1994), a abordagem de construtibilidade apropriada para um dado empreendimento depende de uma complexa inter-relação entre características deste empreendimento e do construtor, justificando, portanto, a existência de diversas abordagens. A seguir, são descritas de forma

sucinta as principais abordagens identificadas em um estudo realizado por Russell et al (1992). As abordagens encontram-se em ordem crescente de formalização e recursos necessários.

Serviços de construtibilidade (*constructability services*): as informações de construtibilidade são consideradas como sendo um serviço fornecido ao longo da realização das atividades que antecedem a construção propriamente dita. Esta abordagem consiste na revisão dos custos das alternativas de projeto e tende a ser um esforço pontual em vez de um programa contínuo ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Esta abordagem é muito utilizada por empresas que atuam em obras setor público.

Revisão da construtibilidade dos projetos (*constructability design review*): as revisões do projeto são realizadas a partir de uma certa porcentagem de conclusão do mesmo, através de *check-lists*. Essas revisões tipicamente verificam o projeto em relação aos seguintes aspectos: acurácia, conclusão, compatibilidade com restrições do empreendimento e eficácia em termos de custo. Uma das limitações desta abordagem é que as sugestões que surgem durante as revisões implicam em retrabalho para que sejam consideradas, enquanto o desejável seria a implementação de uma abordagem pró-ativa.

Programa de melhoria da qualidade (*quality improvement program*): a construtibilidade é considerada como sendo parte de um programa formal tipicamente orientado à qualidade. No entanto, esta vinculação dificulta o isolamento dos benefícios alcançados devido ao esforço pela melhoria da construtibilidade.

Programa formal de construtibilidade a nível do empreendimento (*specialized formal constructability programs*): esta abordagem consiste em desenvolver programas de construtibilidade específicos para cada empreendimento. Estes programas obtêm informações de construtibilidade durante as etapas de planejamento conceitual e projeto preliminar, delineando os procedimentos de construtibilidade, bem como controlando o progresso dos esforços de implementação.

Diretrizes de construtibilidade (*standard constructability guidelines*): organizações que freqüentemente utilizam programas formais de melhoria da construtibilidade, normalmente incorporam a filosofia em um manual de construtibilidade da organização, bem como nos

programas de treinamento. Nesta abordagem, nenhum procedimento formal para comunicar as lições aprendidas é elaborado.

Rastreamento abrangente (*comprehensive tracking*): esta abordagem é semelhante a *Standard Constructability Guidelines*, porém, apresenta duas diferenças. A primeira diz respeito à existência de uma base de dados eletrônica que é criada com o propósito de comunicar as lições aprendidas de um empreendimento para o outro. Isto possibilita que os participantes avaliem as alternativas construtivas e os custos associados, auxiliando o processo de tomada de decisão em novos empreendimentos. A segunda diferença também se refere a uma base de dados que é estabelecida para registrar as economias decorrentes do esforço pela melhoria da construtibilidade, tanto em termos de custo quanto de prazo, de modo a justificar uso futuro de programas de construtibilidade.

De forma complementar aos estudos desenvolvidos em 1992, Gugel e Russell (1994) propõem um modelo para seleção da abordagem mais adequada a um determinado empreendimento. Neste modelo, apenas três abordagens são possíveis: (a) abordagem informal; (b) programa formal de construtibilidade a nível do empreendimento (*formal project-level*) e (c) rastreamento abrangente (*comprehensive tracking*), sendo as duas últimas abordagens formais. Neste estudo, Gugel e Russell (1994) não relacionam a abordagem informal àquelas identificadas em Russell et al. (1992) apresentadas anteriormente. Entretanto, entende-se que a abordagem informal, diz respeito as abordagens serviços de construtibilidade, revisão da construtibilidade e programa de melhoria da qualidade tendo em vista que, nestes casos, o esforço pela melhoria da construtibilidade não ocorre por meio de um programa específico como sugere as abordagens formais.

O modelo proposto por Gugel e Russell (1994) é constituído por três níveis de decisão. No primeiro nível, é feita uma avaliação individual do construtor e das características do empreendimento. Esta análise deve resultar na conclusão abordagem formal ou informal. No segundo nível, é feita uma combinação das características do construtor e do empreendimento. Esta análise também deve resultar na conclusão abordagem formal ou informal. Caso a conclusão no segundo nível de decisão seja formal, parte-se para o terceiro nível, onde é feita a opção por uma das duas abordagens formais (*project-level ou comprehensive tracking*) a partir de critérios estabelecidos pelo modelo.

Dentre as abordagens identificadas nos estudos de Russell et al. (1992), apenas as abordagens programa formal de construtibilidade a nível do empreendimento e revisão da construtibilidade dos projetos foram identificadas nos estudos de outros autores (CII, 1987; ASCE, 1991; AASHTO, 2000; ANDERSON et al., 2000; ARDITI et al.; 2002). Nestes estudos, estas abordagens são apresentadas de forma mais estruturada, incluindo diretrizes para implementação, como é apresentado a seguir.

2.6.3.1 Programa de construtibilidade

Estudos desenvolvidos pelo CII (1987) e pela ASCE (1991) sugerem que a construtibilidade deve ser promovida por meio de um programa de construtibilidade de maneira semelhante aos programas de qualidade e produtividade. Segundo esse estudo do CII (1987), um programa de construtibilidade deve contemplar a definição dos resultados desejados, as responsabilidades pela elaboração, implementação e manutenção do programa, os procedimentos necessários para consideração e revisões dos aspectos relativos a construtibilidade, a captura e armazenamento das lições aprendidas e os procedimentos para avaliação dos resultados, dentre outros itens.

No estudo da ASCE (1991) foram listados os fatores que afetam a construtibilidade dos empreendimentos e que devem ser considerados no programa de construtibilidade. Dentre esses fatores, destacam-se: estratégia de contratação, gestão de riscos, definição de pacotes de trabalho, acesso ao canteiro, *layout* do canteiro, seqüência de construção, disponibilidade de compra de materiais e equipamentos com longo *lead time*, pré-fabricação, pré-montagem, modularização, gestão da qualidade, gestão dos materiais, instalações do canteiro (escritórios, energia temporária, água, sistema de esgoto, estradas de acesso, etc), segurança, operabilidade e manutenibilidade. A amplitude dos fatores apresentados pela ASCE (1991) é coerente com o propósito do programa, que visa considerar as questões referentes à construção em todas as fases do empreendimento.

2.6.3.2 Revisão da Construtibilidade

De acordo com um estudo realizado por Arditi et al. (2002) a revisão da construtibilidade foi apontada como única abordagem de construtibilidade adotada em um universo de 139 empresas de projeto norte-americanas pesquisadas. Nesse estudo, aqueles autores também identificaram as ferramentas empregadas pelas empresas na revisão da construtibilidade e os momentos do PDP onde as revisões são realizadas.

A revisão da construtibilidade também é a abordagem utilizada na revisão dos projetos das agências estaduais de transporte norte-americanas, de acordo com o sub-comitê de construção da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2000). A AASHTO (2000) publicou um guia de melhores práticas na revisão da construtibilidade, com o intuito de que este pudesse ser utilizado pelas agências de transporte, no estabelecimento de procedimentos para revisão da construtibilidade.

De acordo com a AASHTO (2000) a revisão de construtibilidade pode ser definida como um processo que utiliza pessoal com amplo conhecimento em construção nas fases iniciais do projeto do empreendimento, para assegurar que os projetos sejam de fácil construção e ao mesmo tempo, eficazes em termos de custo.

As recomendações publicadas no guia de melhores práticas da AASHTO (2000) estão relacionadas, dentre outros, a critérios para formação da equipe de construtibilidade; frequência com que as revisões devem ocorrer no processo de projeto em função da complexidade do empreendimento; recursos financeiros, humanos e de tempo requeridos para conduzir as revisões; preparação das reuniões para revisão da construtibilidade (preparação da pauta, documentos e listas de verificação); e sintetização, implementação e disseminação dos comentários produzidos nas reuniões.

Entretanto, o estudo do CII (1987) ressalta que quando uma abordagem de construtibilidade se baseia somente na revisão, tende a ser ineficiente e ineficaz. Qualquer mudança que ocorra quando uma certa porcentagem, ou todo o projeto está concluído, representam custos e perda de tempo com retrabalho. Apesar disso, a revisão da construtibilidade parece ser a abordagem mais utilizada na atualidade, ao menos nos Estados Unidos.

2.6.3.3 Modelo para consideração da construtibilidade de forma integrada ao PDP (ANDERSON et al., 2000)

Anderson et al. (2000) propuseram um modelo para integrar o processo de revisões da construtibilidade (PRC) ao PDP de empreendimentos da área de transportes que fosse de encontro às necessidades das agências de transporte estaduais norte-americanas (*State Transportation Agencies - STA*).

De acordo com Anderson et al. (2000), o modelo incorpora princípios de construtibilidade, ferramentas analíticas existentes para dar suporte as revisões de construtibilidade e as funções necessárias para aplicar os princípios e ferramentas. Segundo Anderson et al. (2000) a ligação entre as funções de construtibilidade ao PDP, é obtida conectando-se ambos os processos (PDP e PRC) por meio de *inputs* e *outputs*. A figura 9 proporciona uma visão geral, tridimensional do modelo.

Anderson et al. (2000) explicam que a borda representa o contexto do sistema e os dois planos paralelos representam o PDP e o PRC. Ambos os processos abrangem todo o ciclo de vida do empreendimento. Os dois processos transferem, um para o outro, *inputs* e *outputs* em uma seqüência específica. Estes *inputs* são conectados ao PRC em diferentes pontos no empreendimento. As melhorias da construtibilidade são geradas como *outputs* do PRC e se tornam *inputs* para o PDP. Esta troca de informações é interativa até que cada fase do empreendimento seja finalizada. Finalmente, como mostrado pela figura 9, as lições aprendidas atualizadas, relação benefício/custo, *feedback* das operações e manutenção e o *feedback* para projetistas são *outputs* do PRC que se tornam *inputs* para projetos futuros. Este fluxo de informações conduz a melhoria contínua do PRC e PDP.

Diferente das diretrizes propostas por AASHTO (2000) e Arditi et al. (2002) para revisões da construtibilidade, nas quais as revisões são realizadas em pontos definidos do processo de projeto, no modelo proposto por Anderson et al. (2000) várias atividades ao longo do PDP são conectadas às funções de construtibilidade correspondentes no PRC, estabelecendo uma maior integração entre esses dois processos.

Embora Anderson et al. (2000) afirmem que o modelo é flexível e que pode ser adaptado, com algumas modificações, para outros segmentos da indústria da construção, é importante notar que, em cada segmento, a importância atribuída aos aspectos de construtibilidade é

distinta. Assim, a ênfase extensiva dada aos aspectos de construtibilidade no referido modelo é coerente com as necessidades do segmento de transporte. No entanto, em outros segmentos, como o de edificação, os aspectos de construtibilidade têm menor peso já que a necessidade de atender a outros requisitos demandados pelos clientes finais (como aqueles relacionados à estética), em alguns casos, requer uma análise de *trade-offs*, já que as iniciativas de promoção da construtibilidade tendem a simplificar as soluções de projeto.

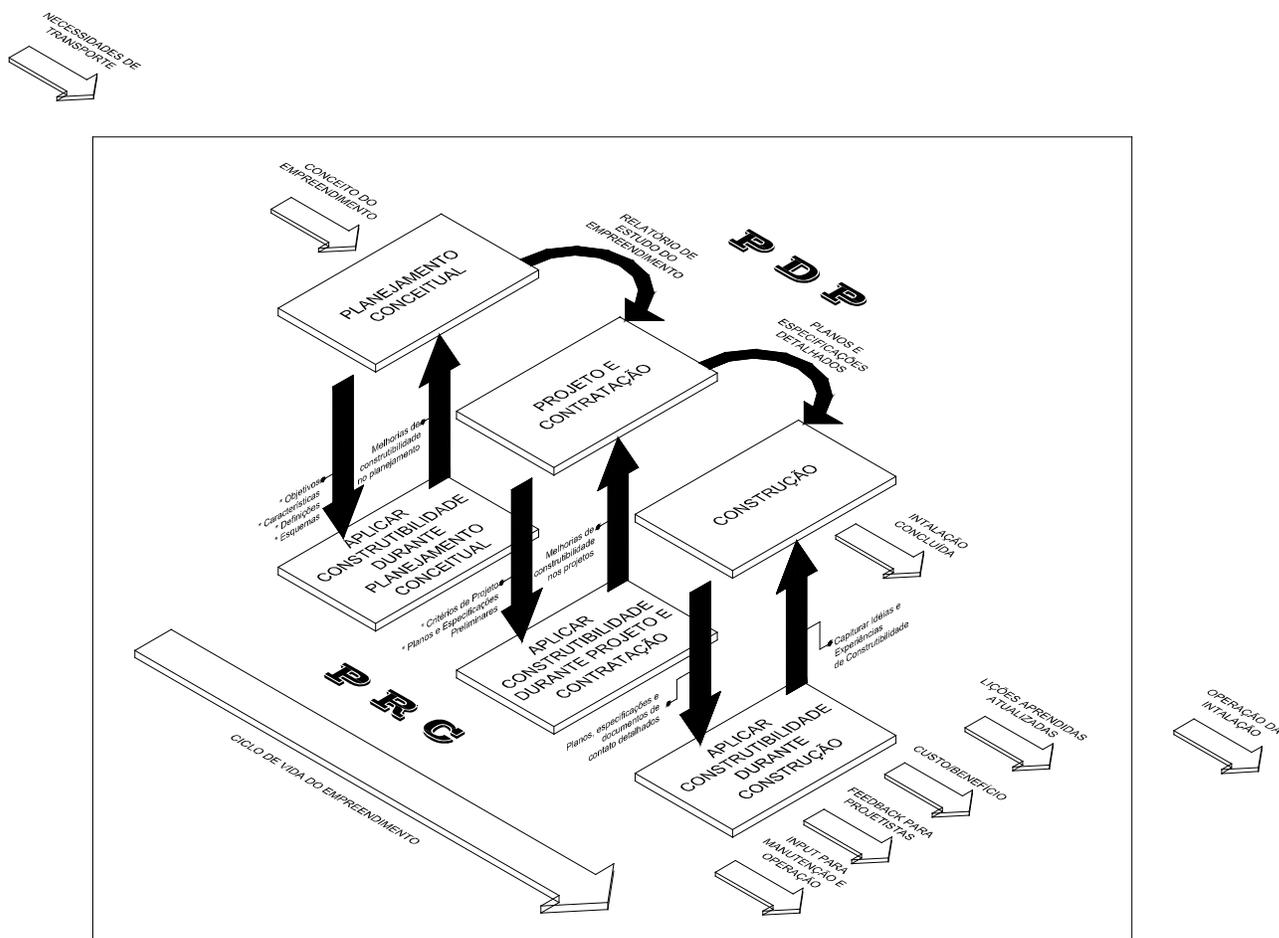


Figura 9: Gerenciamento Total da Construtibilidade: Integração do PRC e PDP (Fonte: ANDERSON et al., 2000)

2.6.3.4 Discussão sobre as abordagens: programa de construtibilidade e revisão da construtibilidade

Quanto à abrangência das abordagens, pode-se dizer que a revisão da construtibilidade possui foco no projeto e que durante a etapa de construção, as ações que visam a melhorar a

construtibilidade possuem escopo reduzido em relação àquele proposto pela ASCE (1991) para o programa de construtibilidade. Deste modo, na etapa de construção a abordagem de revisão da construtibilidade prevê ações relacionadas à captura e documentação de lições aprendidas e avaliação dos custos/benefícios decorrentes dos esforços pela melhoria da construtibilidade (AASHTO 2000; ANDERSON et al. 2000).

Observou-se que alguns elementos do programa de construtibilidade também estão presentes na abordagem revisão da construtibilidade, tais como: (a) definição de uma equipe de construtibilidade (AASHTO, 2000; ANDERSON et al., 2000, ARDITI et al., 2002); (b) estabelecimento de procedimentos para condução da análise de construtibilidade (AASHTO, 2000; ANDERSON et al., 2000); (c) definição das ferramentas que darão suporte à análise (ANDERSON et al. 2000; ARDITI et al. 2002); e (d) definição dos procedimentos para captura e documentação de lições aprendidas e avaliação dos resultados (AASHTO, 2000; ANDERSON et al., 2000; ARDITI et al., 2002).

Especificamente em relação à revisão da construtibilidade, a AASHTO (2000), Anderson et al. (2000) e Arditi et al. (2002) afirmam que o grau de formalidade ou intensidade com que são conduzidas as revisões, bem como o número e composição dos que compõem a equipe de construtibilidade possuem relação direta com o grau de complexidade do empreendimento. Para Arditi et al. (2002) a complexidade de um empreendimento está relacionada à tecnologia, materiais e métodos de construção empregados.

Quanto ao programa formal de construtibilidade, este não constitui parte integrante do PDP, uma vez que é executado em separado, por uma equipe específica que age de acordo com procedimentos previamente estabelecidos. Porém, a responsabilidade pela consideração dos aspectos de construtibilidade deveria ser de toda equipe envolvida no empreendimento e não apenas de um determinado grupo. Assim, os aspectos de construtibilidade poderiam ser mais facilmente integrados ao PDP. No entanto, é necessário que os membros participantes do empreendimento disponham de informações sobre construtibilidade.

2.6.3.5 Captura de requisitos de construtibilidade

De acordo com O'Connor et al. (1986) as técnicas utilizadas para coleta de requisitos de construtibilidade incluem sugestões voluntárias, questionários, entrevistas e encontros pré-

construção entre agentes de projeto e produção. Aqueles autores acrescentam que a discussão e análise de dados coletados durante a construção de outros empreendimentos também proporcionam idéias sobre como a construtibilidade pode ser melhorada. Além destas, o CII (1987) sugere a realização de várias sessões de *brainstorming* entre os agentes envolvidos no empreendimento como uma das primeiras atividades do PDP. Segundo o CII (1987), as idéias fluem mais facilmente quando o empreendimento ainda não apresenta restrições em relação a decisões previamente firmadas. Assim, análises de *trade-offs* são realizadas antes do início das atividades de projeto, o retrabalho de projeto é minimizado e a qualidade do projeto é melhorada como um todo.

Para a coleta de dados, O'Connor et al. (1986) sugerem diferentes agentes sejam envolvidos: engenheiros de campo, projetistas, inspetores, supervisores, encarregados e mestre-de-obras. Quanto à participação dos projetistas, aqueles autores esclarecem que a coleta de dados deve ocorrer no sentido de identificar quais as informações, uma vez disponibilizadas para eles, melhorariam a construtibilidade de seus projetos. O'Connor et al. (1986) também sugerem que os operários sejam incluídos no esforço para coletar informações, durante a etapa de construção.

Entretanto, O'Connor et al. (1986) ressaltam que dependendo do tipo de informação que se pretende capturar (por exemplo, fatores que afetam a construtibilidade do projeto do produto), algumas técnicas são mais eficientes que outras. Do mesmo modo, aqueles autores acrescentam que para capturar um determinado tipo de informação, há fontes de consulta que proporcionam um número maior de sugestões viáveis do que outras. Assim, O'Connor et al. (1986) concluem que uma coleta de dados eficiente deve considerar diferentes técnicas, bem como a participação de diferentes agentes.

2.7 AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE

Poucos trabalhos dentre a bibliografia consultada se dedicaram a propor meios para avaliar a construtibilidade. Por exemplo, Russell et al. (1992) propõem o cálculo da relação entre o custo da implementação de ações para melhoria da construtibilidade e benefícios decorrentes dos problemas evitados a partir das ações implementadas. Para este último são contabilizados os gastos em termos de horas utilizadas pelos participantes do empreendimento, em atividades

relacionadas a construtibilidade, os honorários de consultores de construtibilidade, despesas com transporte e hospedagem de profissionais residentes em outras localidades que são solicitados a participar mais cedo do processo, assim como o custo de coletar sugestões e manutenção da base de dados das lições aprendidas.

Quanto aos benefícios, Russell et al. (1992) propõem a quantificação do valor econômico do problema evitado. Segundo aqueles autores, a quantificação desses benefícios depende de fatores tais como: capacidades de gestão do empreendimento, habilidade da mão-de-obra, utilização de equipamentos, condições climáticas, dentre outros. Na medida em que o empreendimento avança do planejamento conceitual até a fase de construção, a variabilidade inerente às estimativas quantificadas vai se reduzindo.

Embora o cálculo da relação custo/benefício conforme proposto por Russell et al. (1992), proporcione um dado importante para avaliação da eficácia das ações empreendidas com vistas a promoção da construtibilidade, a quantificação dos benefícios é muito subjetiva e pode comprometer a confiabilidade do resultado obtido. Além disso, esse indicador não possibilita uma avaliação do nível de construtibilidade agregado no projeto do produto e do processo. Deste modo, um conjunto de indicadores de desempenho poderia dar suporte aos envolvidos no desenvolvimento do projeto do produto e do processo, na avaliação dos aspectos relativos a construtibilidade.

2.7.1 Indicadores de desempenho na avaliação da construtibilidade

Os indicadores são aplicados como importantes elementos de avaliação, planejamento, controle e melhoria da qualidade, constituindo-se em elementos de apoio à tomada de decisão, com relação a uma determinada estrutura administrativa, processo ou produto (CTE¹⁰ 1994 apud COSTA 2003). Quando representam resultados atingidos por um determinado processo ou características dos produtos finais, os indicadores são denominados de desempenho (CTE 1994 apud COSTA 2003).

¹⁰ CENTRO DE TECNOLOGIA DA EFIFICAÇÃO (CTE). **Sistemas de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras**. São Paulo, CTE/SINDUSCON-SP/SEBRAE-SP, 1994.

Os indicadores de desempenho devem obedecer alguns critérios fundamentais para assegurar a disponibilidade dos dados e dos resultados obtidos no processo de medição. De acordo com Lantelme (1994) os principais critérios para o estabelecimento de indicadores são:

- a) ser de formulação simples, possível de entendimento e compreensão por todas as pessoas envolvidas no processo;
- b) apresentar grau satisfatório de representatividade das atividades e resultados gerados;
- c) serem calculados com dados disponíveis ou facilmente obtidos e, principalmente, confiáveis.

Sendo a construtibilidade uma propriedade inerente ao projeto e ao processo de construção das edificações, indicadores de desempenho podem ser selecionados ou estabelecidos com objetivo de avaliar o atendimento aos requisitos de produção. Deste modo, buscou-se identificar dentre os indicadores de desempenho propostos por Lantelme (1994), Andrade et al. (1996), Novaes (2000) e Lantelme et al. (2001), aqueles que podem auxiliar na avaliação da construtibilidade. Como critérios para seleção destes indicadores, buscou-se estabelecer a relação destes com os princípios de construtibilidade, como ilustra a figura 10.

A racionalização do projeto é um fator de grande importância tanto no que se refere a sua influência sobre os custos, quanto na facilidade de construção e implicações na fase de utilização (LANTELME, 1994). Deste modo, os indicadores de desempenho que visam a avaliar os aspectos de racionalização construtiva, também podem, indiretamente, avaliar os aspectos de construtibilidade, já que o volume de atividade conduzida no canteiro tende a diminuir quando os aspectos de racionalização são favorecidos. Tendo em vista os inúmeros exemplos de indicadores de racionalização dos projetos identificados na literatura, a tabela apresenta apenas alguns exemplos desses indicadores (número de 1 a 7 da figura 9).

Tendo em vista que a coordenação de projetos assume papel fundamental, não apenas como um instrumento de garantia da qualidade do produto final, mas também devido à influência desta na construtibilidade, produtividade e no retrabalho (PICCHI¹¹, 1993 apud LANTELME,

¹¹ PICCHI, F. A. **Sistemas de Qualidade: Uso em Empresas de Construção**. 1993. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

1994), selecionou-se o indicador número de incompatibilidades entre projetos durante a etapa de construção (indicador número 8 da figura).

Os demais indicadores (números de 9 a 11) visam a avaliar o impacto de fatores que afetam a construtibilidade do projeto de processo (seqüência de execução e *layout* do canteiro). Os indicadores número 10 e 11 permitem avaliar a importância atribuída à necessidade de minimizar as atividades de fluxo. Deste modo, também é possível avaliar a necessidade de priorizar ações de melhoria da construtibilidade, que proporcionem melhorias nos fluxos.

No que diz respeito a valores de referência, Novaes (2000) ressalta que devido à ocorrência de pouca sistematização e apropriação de dados durante o processo de produção, os indicadores possuem também escassos valores de referência. Por outro lado, este autor destaca que os valores existentes, utilizados como referência para os indicadores, devem ser relativizados, em virtude da diversidade tecnológica e produtiva presentes nos processos construtivos empregados na produção de edificações.

No entanto, esse mesmo autor acrescenta que nos contextos técnico e organizacional de uma mesma empresa, e segundo um mesmo processo construtivo, considerados evolutivamente, para tipologias de edifícios semelhantes, os dados apropriados passam a representar valores históricos possíveis de emprego como referência para comparações. Além disso, podem vir a tornar-se representativos de metas com possibilidade real de alcance, no setor da construção de edifícios.

Outra recomendação de Novaes (2000) diz respeito ao momento em que os indicadores devem ser coletados. Especificamente em relação ao emprego de indicadores durante o desenvolvimento do projeto do produto, este autor destaca que os indicadores devem ser divididos entre as etapas do PDP, considerando a capacidade de cada etapa em produzir as informações necessárias para a coleta dos indicadores.

	INDICADOR	AUTORES	PRINCÍPIOS DE CONSTRUTIBILIDADE							APLICAÇÃO		
			1	2	3	4	5	6	7	PROJETO	PROCESSO	
1	Índice de Compacidade (Ic)	LANTELME,1994; ANDRADE et al. ,1996; NOVAES, 2000; LANTELME et al. ,2001	X								X	
2	Densidade de Paredes (DP)	LANTELME,1994; ANDRADE et al.,1996; NOVAES, 2000; LANTELME et al. ,2001	X								X	
3	Índice de Tubulações Hidráulicas (Ih)	LANTELME,1994; ANDRADE et al.,1996; NOVAES, 2000; LANTELME et al. ,2001	X								X	
4	Índice de Eletrodutos (Ie)	LANTELME,1994; ANDRADE et al. 1996; NOVAES, 2000; LANTELME et al. , 2001	X								X	
5	Índice de Aço	LANTELME,1994; ANDRADE et al. , 1996; NOVAES 2000; LANTELME et al. ,2001	X								X	
6	Índice de Concreto	LANTELME,1994; NOVAES 2000; LANTELME et al. 2001	X								X	
7	Índice de Fôrmas	LANTELME,1994; ANDRADE et al. , 1996; NOVAES 2000; LANTELME et al. ,2001	X								X	
8	Número de Incompatibilidades entre projetos	LANTELME,1994;	X								X	
9	Boas Práticas em Layout e Logística de Canteiro	LANTELME et al. , 2001			X							X
10	Percentual de atividades que não agregam valor	LANTELME et al. , 2001	X		X							X
11	Tempos Produtivos Improdutivos e Auxiliares	LANTELME,1994; LANTELME et al. , 2001	X					X				X

- 1 - Simplificar pela redução do número de partes e passos
2 - Padronizar elementos do projeto e processos construtivos
3 - Promover acessibilidade para pessoas, materiais e equipamentos
4 - Facilitar construção sob condições climáticas adversas
5 - Otimizar os processos de construção
6 - Promover a manutenibilidade
7 - Minimizar o tempo de percepção, decisão e manipulação das operações de montagem manual

Figura 10: Indicadores de Desempenho para avaliação da Construtibilidade

2.7.2 A Contribuição da Análise Crítica do Projeto na Avaliação da Construtibilidade

Após a conclusão de cada etapa de elaboração dos projetos e anteriormente ao encaminhamento dos mesmos para a produção, estes devem ter sua conformidade verificada quanto aos conteúdos das informações transmitidas aos respectivos profissionais de projeto por meio da análise crítica (NOVAES, 1996). Segundo Novaes (2000) essas informações referem-se a um sistema de informações sobre o empreendimento, o processo construtivo, exigências de desempenho e legislação. Essas informações são identificadas e sistematizadas pelos próprios agentes de projeto, promoção e produção para elaboração, coordenação e compatibilização do projeto (NOVAES, 1996). Assim, o caráter da análise fica bem caracterizado como sendo de extrema utilidade para a preservação dos objetivos inicialmente formulados, bem como para garantir o atendimento aos clientes do projeto (MELHADO, 1994).

A análise crítica de projeto apresenta semelhança com a atividade de aprovação de etapa do projeto do produto proposta Tzortzopoulos (1999). Segundo essa autora, a aprovação de etapa é uma atividade básica a ser desenvolvida ao final de cada etapa do projeto do produto, que possibilita a execução de um controle sistemático e documentado ao longo de todo o processo. A autora acrescenta que esta atividade configura um momento no qual são verificadas as atividades desenvolvidas ao longo da etapa e preparado o planejamento das atividades da próxima etapa.

De modo geral, observou-se que a análise crítica de projeto (MELHADO, 1994; NOVAES, 1996; NOVAES, 2000) ou aprovação de etapa (TZORTZOPOULOS, 1999), é apresentada como um mecanismo de garantia da qualidade do projeto do produto sendo, portanto, contextualizada por esses autores, dentro da proposta de um sistema de gestão da qualidade.

Melhado (1994) ressalta que a análise crítica pode ser realizada ao final de qualquer etapa do projeto do produto e destaca que essa atividade não deve ser confundida com o processo de coordenação do projeto. Essa distinção também é clara na metodologia para gestão do projeto proposta por Novaes (1996).

Para Melhado (1994) a responsabilidade pela análise crítica deve ser atribuída a agentes externos à equipe de projeto de modo a favorecer a neutralidade necessária para essa

atividade. Na proposta de Novaes (1996) dois grupos de agentes, também externos à equipe de projeto, são designados como responsáveis pela análise crítica do projeto: os agentes de promoção (construtora ou proprietário) e de produção.

ASCE¹² (1988) apud Novaes (1996) entende que a análise crítica inclui a verificação dos seguintes itens: códigos e normas aplicáveis; precisão de cálculos; adequação de alternativas selecionadas; construtibilidade das soluções; viabilidade das soluções atenderem às exigências dos agentes da promoção e da produção e aos objetivos dos profissionais de projeto.

Os aspectos de construtibilidade também são contemplados entre os itens a ser verificados nas propostas para análise crítica de projeto elaboradas por Melhado (1994) e Novaes (1996). Este primeiro autor propõe um roteiro básico dos aspectos a serem analisados nas etapas de estudo preliminar, anteprojeto e detalhamento. Já o segundo, propõe uma metodologia baseada na aplicação de indicadores de qualidade e produtividade para análise crítica de projetos ao final das etapas de estudo de viabilidade do empreendimento, estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo, conforme ilustrado na figura 11. Novaes (1996) acrescenta que também pode contribuir para a verificação da conformidade, o desdobramento das informações transmitidas aos profissionais de projeto e dos indicadores apropriados pelos agentes de promoção e produção, na forma de listas de verificação, que traduzam minuciosamente os parâmetros para controle e para análise crítica do projeto.

É importante ressaltar que a análise crítica por si só não é eficaz na consideração dos requisitos do empreendimento, identificados no início do PDP, uma vez que esta constitui-se apenas em um instrumento de controle. Há, portanto, necessidade de disponibilizar esses requisitos (dentre os quais se inclui aqueles relativos à construtibilidade) como dado de entrada no PDP, visando tornar mais eficiente a consideração dos mesmos no projeto (NOVAES, 1996).

É evidente que a análise de projeto pode repercutir em retrabalhos, no entanto, esse retrabalho pode ser minimizado quando os requisitos são disponibilizados aos projetistas no início do PDP. Neste contexto, os aspectos de construtibilidade seriam considerados em conjunto com demais requisitos do empreendimento (por exemplo, requisitos do usuário e de desempenho) e de forma integrada ao PDP e não como um esforço em separado.

¹² AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **Quality in the Construction Project: a guideline for owners, designers and constructors.** New York, vol. 1, 1988.

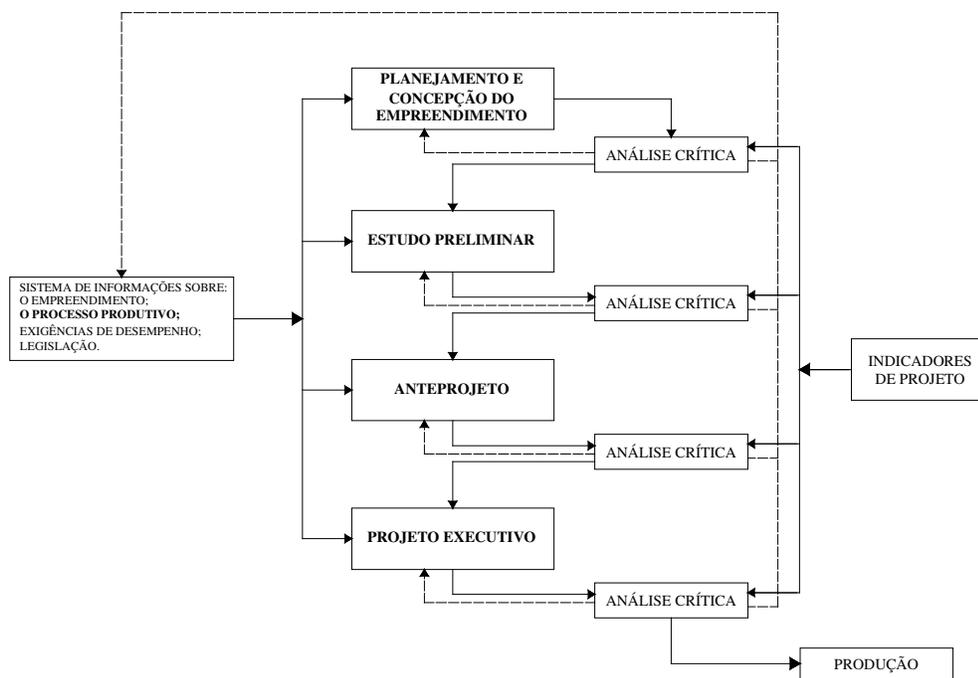


Figura 11: Análise crítica do projeto com apoio de indicadores
(Baseado em NOVAES, 2000)

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, buscou-se apresentar de forma estruturada o conhecimento sobre construtibilidade, distinguindo as contribuições identificadas na literatura pesquisada, em princípios ou metodologias (que incluem métodos, ferramentas, abordagens e práticas), conforme o nível de abstração. A partir da discussão do conceito de construtibilidade, verificou-se que as ações que visam melhorar a construtibilidade não se restringem apenas às definições físicas do produto no projeto e que estas também podem ser adotadas no projeto do processo.

A partir da revisão da bibliografia, identificaram-se algumas iniciativas que também possuem objetivos semelhantes ao da construtibilidade (racionalização construtiva, coordenação dimensional, projeto para a produção e métodos construtivos) de modo que, cada uma dessas iniciativas constituem parte do escopo da construtibilidade. A racionalização construtiva, assim como a coordenação dimensional, visa aumentar a eficiência do processo produtivo com foco na otimização do emprego de recursos, de modo que este esforço quase sempre repercute na facilidade de construir, aumentando-a.

Já os projetos para produção, facilitam a condução das atividades de execução, por anteciparem para a fase de planejamento, uma série de decisões comumente tomadas no momento da execução, tais como definição da seqüência de execução e da composição das equipes. Além disso, a elaboração de projetos para produção, faz com que projetistas ou agentes de produção pensem em como executar, o que pode ajudar a identificar previamente, problemas associados à execução. Entretanto, este esforço está mais associado à construtibilidade do projeto do processo, já que não possui implicações diretas no projeto do produto.

Por último, os métodos PPMOF se destacam como importante instrumento para simplificação do processo produtivo. Entre outros, o emprego desses métodos permite reduzir o número de operações produtivas no canteiro, o impacto causado pelas condições climáticas adversas, bem como o número de operações realizadas em altura. Entretanto, o emprego desses métodos possui condicionantes, de modo que nem sempre será uma opção viável para determinados empreendimentos.

Verificou-se também, que o esforço pela melhoria da construtibilidade tem objetivos semelhantes aos métodos DFM, DFA e DHA da indústria manufatureira e que muitos princípios e práticas associados àqueles métodos têm potencial para promover os aspectos de construtibilidade. Entretanto, é preciso reconhecer que na indústria manufatureira, há uma maior liberdade por parte dos projetistas, em termos de definição dos atributos de cada peça ou componente do produto, tendo em vista a possibilidade de produção em larga escala. Já no setor da construção, a liberdade é reduzida, se restringindo em boa parte dos casos, à definição da arquitetura do produto, havendo necessidade de considerar peças e componentes padrão do mercado devido à produção em pequena escala. Neste sentido, as orientações e recomendações relativas aos métodos DFM, DFA e DHA têm, em muitos casos, maior utilidade na escolha de peças e componentes padrão do mercado que favoreçam os aspectos produtivos, do que propriamente no projeto de peças e componentes. Uma exceção seriam os empreendimentos que empregam componentes pré-fabricados, embora esses também sejam feitos sob encomenda em pequena escala.

Além disso, buscou-se compreender como a construtibilidade, enquanto referencial teórico, contempla os objetivos da construção enxuta e da engenharia simultânea. Deste modo, a explicitação de princípios e metodologias associadas à construtibilidade, ajuda a identificar

meios para aumentar a eficiência das atividades que agregam valor (conversão), assim como reduzir a parcela daquelas que não agregam valor (fluxo), como sugere a filosofia enxuta. Por outro lado, a aplicação desses princípios e metodologias, também pode ajudar a alcançar o objetivo da engenharia simultânea de incorporar, na etapa conceitual do projeto do produto, as necessidades das etapas subseqüentes. Neste caso, as necessidades da etapa de construção.

No que diz respeito à consideração dos aspectos de construtibilidade no PDP, concorda-se com a posição do CII (1987) referente ao fato de que uma abordagem baseada apenas em revisões constitui um esforço ineficiente e pouco eficaz. Assim, faz-se necessária a identificação e disseminação dos requisitos de produção junto aos agentes de projeto e produção nas etapas iniciais do PDP. Por outro lado, a existência de controle sobre as medidas implementadas no projeto é fundamental para assegurar que as restrições do processo produtivo tenham efetivamente sido consideradas.

Deste modo, a análise crítica do projeto, realizada ao final de cada etapa do PDP que precede a etapa de construção, pode constituir um mecanismo de controle adequado, para que a consideração dos requisitos de produção seja verificada em conjunto com os demais requisitos do empreendimento. Também os autores Melhado (1994), Novaes (1996) e ASCE (1998) apud Novaes (1996), incluíram a construtibilidade dentre os itens a serem verificados na análise crítica do projeto.

Concordando com Novaes (2000), o estabelecimento de indicadores como apoio à realização da análise crítica, permite que as alternativas de projeto sejam avaliadas, ao final de cada etapa, por meio de comparações. Neste sentido, a revisão bibliográfica realizada neste trabalho, também contribuiu com a identificação de indicadores de desempenho já existentes, que podem ser empregados para avaliar, entre outros aspectos, aqueles relacionados a construtibilidade das soluções de projeto.

Entretanto, cabe ressaltar que a elaboração de indicadores de desempenho, direcionados a avaliar especificamente os aspectos de construtibilidade se faz necessária, já que os indicadores existentes não contemplam todos os fatores que afetam a construtibilidade.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A principal questão de pesquisa que se busca responder, conforme apresentado no capítulo 1, diz respeito a como considerar os aspectos de construtibilidade de forma integrada ao PDP em obras de caráter repetitivo. Tendo em vista que esta questão se relaciona com o entendimento do funcionamento de uma organização, optou-se pela estratégia do estudo de caso, a qual é adequada para investigações que contemplam fenômenos contemporâneos dentro do contexto da vida real. Esta estratégia é especialmente adequada quando os limites entre o fenômeno e o contexto explorado não são claramente definidos (YIN, 2001). Roesch (1999) acrescenta outras características do estudo de caso que justificam a sua escolha neste trabalho: é uma estratégia adequada ao estudo de processos e explora fenômenos com base em múltiplas evidências.

Neste trabalho, foram realizados dois estudos de caso em uma empresa construtora e incorporadora de condomínios horizontais (CH) da região metropolitana de Porto Alegre. A justificativa para optar pelos condomínios horizontais para a realização dos estudos, consiste no fato deste tipo de empreendimento estar entre aqueles que melhor caracterizam as obras repetitivas. Foi analisado o processo de desenvolvimento de produto da empresa, assim como o planejamento da produção e o processo de produção, visando identificar as práticas que promovem a construtibilidade, bem como os fatores que afetam o desempenho da mesma.

3.2 DELINEAMENTO

A pesquisa compreendeu três etapas principais: revisão bibliográfica, estudos de caso e avaliação global dos resultados e proposição das diretrizes, como ilustra a figura 12. A revisão bibliográfica permeou todas as etapas da pesquisa, envolvendo três tópicos principais: construtibilidade; conceitos e práticas associadas a construtibilidade (produção enxuta,

engenharia simultânea, racionalização construtiva, métodos construtivos, método DFA) e PDP. A partir da revisão, foi possível entender melhor como os aspectos de construtibilidade podem ser integrados ao PDP, bem como entender a relação da construtibilidade com outros referenciais teóricos como, por exemplo, a racionalização construtiva.

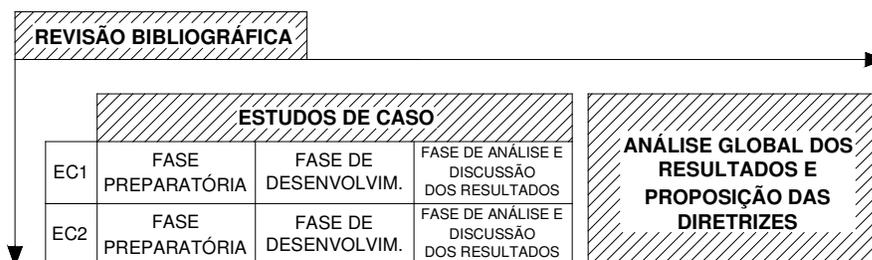


Figura 12: Delineamento da Pesquisa

3.3 ESTUDOS DE CASO

Inicialmente, apresenta-se uma caracterização geral da empresa onde foram feitos os dois estudos de caso. Em seguida, o método adotado em cada estudo de caso é descrito segundo três fases: preparação do estudo de caso, desenvolvimento, análise e discussão dos resultados parciais.

3.3.1 Caracterização da empresa pesquisada

Os dois estudos de caso foram realizados na construtora e incorporadora Alfa¹³. Fundada em 1991, a construtora Alfa é uma empresa de pequeno porte de Porto Alegre que atua em toda a região metropolitana na construção de empreendimentos residenciais. Essa construtora obteve entre os anos de 2003 e 2004 a certificação de seu sistema de qualidade no nível “A” pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade na habitação (PBQP-h). Durante a realização desta pesquisa, o corpo técnico da construtora era formado por dois diretores, um gerente de produção, um gerente de atendimento ao cliente, um engenheiro de obra, dois estagiários de engenharia, um inspetor de qualidade e dois mestres-de-obras.

¹³ Todos os nomes utilizados para designar empresas e empreendimentos são fictícios.

Com base em uma pesquisa de mercado, a construtora passou a atuar, a partir de 1999, somente no mercado de obras de condomínios horizontais, apostando nesta tipologia de habitação que era uma novidade para o mercado imobiliário da região naquela época. Até a conclusão dos estudos de caso em junho de 2005, a empresa já havia lançado treze condomínios horizontais com pelo menos 1500 unidades entregues. Destes empreendimentos, quatro estavam sendo comercializados durante o período em que foi realizada a pesquisa.

De fato, os CH vêm se destacando dentre as modalidades de habitação, devido à crescente demanda, sobretudo nas regiões metropolitanas do país (BRANDSTETTER, 2001). De acordo com Brandstetter (2001), o lançamento de CH nos grandes centros urbanos surgiu como uma opção de moradia para famílias que buscam a segurança de um apartamento, aliada à privacidade de uma casa, além de área de lazer para os filhos.

Os empreendimentos da construtora Alfa são voltados para a classe média, sendo que o preço de venda das unidades residenciais varia entre 100 e 200 CUB-RS¹⁴. Os empreendimentos da construtora constituem-se, geralmente, de casas geminadas de dois, três ou quatro dormitórios, com área de lazer, piscina, quadra de esportes, salão de festas, sala de musculação, *playground*, além de segurança vinte e quatro horas.

A principal justificativa para a escolha da construtora Alfa para a realização dos estudos de caso é o fato da empresa atuar na incorporação de condomínios horizontais há cerca de seis anos, tendo acumulado experiência na construção das mais de 1500 unidades entregues. Além disso, a empresa é uma das pioneiras na incorporação deste tipo de empreendimento destinado à classe média.

3.3.2 Estudo de Caso 1 (EC1)

O EC1 teve duração total de 8 meses e foi realizado durante parte da etapa de construção do empreendimento Vivendas, conforme ilustra a figura 13. O EC1 teve os seguintes objetivos: (a) levantar práticas que favorecessem a construtibilidade, bem como os princípios associados a essas práticas; (b) identificar fatores que afetam o desempenho da construtibilidade durante

¹⁴ CUB-RS: Custo Unitário Básico da Construção por m² no Estado do Rio Grande do Sul. O CUB é atualizado mensalmente pelo Sindicado da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON-RS). Maiores informações podem ser obtidas no site: www.sinduscon-rs.com.br.

a etapa de construção; e (c) validar a versão preliminar de um *check-list* proposto referente a boas práticas em construtibilidade. Para atingir esses objetivos, foram levantados dados a partir de quatro fontes de evidência: observação direta, observação participativa, análise de documentos e entrevistas.

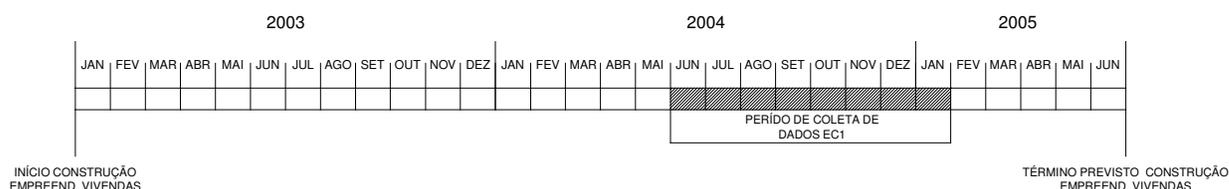


Figura 13: Identificação do período de coleta de dados em relação ao período de execução do empreendimento Vivendas

A relativa longa duração do EC1 deveu-se, em parte, às limitações da empresa em termos de tempo para atender a pesquisadora, de modo que não foi possível estabelecer uma rotina intensa de coleta de dados.

3.3.2.1 Fase Preparatória do EC1

Inicialmente, foi elaborada uma proposta para realização do estudo de caso na empresa visando a esclarecer os objetivos da pesquisa, que tipo de dados seriam coletados e de que modo seriam coletados, assim como um cronograma dos trabalhos de coleta. O primeiro contato com a empresa foi realizado em junho de 2004. A proposta foi enviada para avaliação da direção da empresa. Uma vez aprovada, foram realizados os primeiros contatos com o gerente de produção, o qual apresentou uma descrição geral da empresa bem como dos empreendimentos que estavam em andamento. Como a empresa não estava lançando nenhum empreendimento no início do estudo de caso (opção mais desejável, já que o processo de projeto e a fase inicial de execução poderiam ser acompanhados), optou-se pela realização do estudo de caso no empreendimento Vivendas, que já se encontrava na sétima fase¹⁵ de construção.

¹⁵ Cada fase do empreendimento Vivendas correspondia a construção completa (desde as fundações até os acabamentos) de um lote de aproximadamente 10 unidades residenciais.

Foi feita uma visita ao empreendimento com o objetivo de apresentar a proposta de pesquisa ao engenheiro responsável pela obra, coletar informações para caracterizar o contexto onde o estudo seria desenvolvido, bem como identificar os dados disponíveis para coleta. Deste modo, o plano inicial de trabalho foi readequado, a partir da identificação e seleção de documentos disponíveis para consulta que tinham potencial para avaliação dos aspectos de construtibilidade. A figura 14 apresenta uma listagem das fontes de evidência adotadas.

Nesta etapa, também foi desenvolvido um *check-list* de boas práticas em construtibilidade (ver apêndice A). A versão preliminar do *check-list* foi desenvolvida a partir do levantamento de práticas identificadas na bibliografia, as quais proporcionam melhorias na construtibilidade do projeto do produto e no projeto do processo. Essas práticas foram agrupadas segundo dois critérios: (a) a relação destas com os princípios de construtibilidade; e (b) conforme a aplicação se desse no projeto do produto ou no projeto do processo. O *check-list* tinha como objetivo inicial gerar um índice de construtibilidade para o projeto do produto e outro para o projeto do processo, a partir da relação entre os itens atendidos e o total de itens. Do mesmo modo, um índice global de construtibilidade também poderia ser calculado considerando, em conjunto, todos os itens do *check-list*.

FONTES DE EVIDÊNCIA EC1
Entrevistas Semi-estruturadas: agentes de projeto e produção
Documentação: projetos de todas as disciplinas, seus respectivos detalhamentos e memoriais descritivos; planilha discriminativa de pranchas; <i>check-list</i> de boas práticas de construtibilidade no projeto do produto e do processo; manual de instruções técnicas; cronograma da obra; atas de seminários de produção; relatórios de acompanhamento das obras; planilhas de programação semanal.
Observação Participativa: reuniões de programação semanal
Observação Direta: visitas ao canteiro de obras

Figura 14: Fontes de evidência utilizadas no EC1

A versão preliminar do *check-list*, utilizada no teste piloto, contava com 33 itens distribuídos em sete seções. Destes, 24 diziam respeito a práticas aplicáveis ao projeto do produto e as demais aplicáveis ao projeto do processo. Entretanto, em sua versão final apresentada no

apêndice A, o *check-list* passou a ter 49 itens distribuídos em onze seções sendo que destes itens, 32 são aplicáveis ao projeto do produto e 17 ao projeto do processo.

Para cada item do *check-list* foi apresentada uma justificativa que visou esclarecer, como este contribui para a promoção da construtibilidade. Assim, para cada item a ser verificado, foram disponibilizadas as opções: sim, parcialmente, não e não se aplica. A figura 15 apresenta a fórmula para o cálculo do índice de construtibilidade, bem como os critérios para coleta dos dados.

Visando a analisar as impressões dos respondentes tanto em relação à facilidade de uso da ferramenta, quanto à utilidade da mesma, foi desenvolvido um formulário de avaliação, que se encontra disponível no apêndice B.

Índice de Construtibilidade (IC)	
Fórmula	$IC = \frac{\sum Po}{(Pp - \sum NA)} \times 100$
Crítérios de Coleta	<p>Pontos obtidos (P_o) considerando: 1 (um) ponto para cada resposta "SIM"; 0,5 (meio) ponto para cada resposta "PARCIALMENTE" e 0 (zero) ponto para cada resposta "NÃO".</p> <p>Pontos possíveis (P_p): é o número total de itens do <i>check-list</i>.</p> <p>Não se aplica (NA): itens não se aplica</p>

Figura 15: Cálculo do índice de construtibilidade

Além do *check-list*, foram utilizados dois indicadores dentre aqueles selecionados no item 2.7.1 (Indicadores de desempenho na avaliação da construtibilidade). Assim, os indicadores índice de compacidade (I_c) e densidade de paredes (DP) foram empregados visando complementar a análise do projeto do empreendimento Vivendas.

3.3.2.2 Fase de Desenvolvimento do EC1

Entrevistas com agentes de projeto e produção

A realização de entrevistas semi-estruturadas constituiu importante fonte de informações do EC1. No total, foram realizadas 8 entrevistas semi-estruturadas com agentes de projeto e produção, com duração média de 40 minutos. Inicialmente, foram entrevistados os principais projetistas contratados (arquitetura, estruturas e instalações prediais), bem como o gerente de produção, que participava ativamente do PDP. O objetivo destas entrevistas foi conhecer como ocorria o PDP na empresa, esboçar um mapa do PDP da empresa e verificar como a construtibilidade era considerada neste processo. O roteiro da entrevista realizada com os projetistas e o gerente de produção está disponível no apêndice C.

Os projetistas foram questionados principalmente quanto a suas atribuições no PDP, quanto à extensão de suas participações no PDP, sobre informações e critérios utilizados para desenvolvimento dos projetos, sobre a interação com demais projetistas e com os agentes de produção.

Além dos projetistas, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com o mestre-de-obras e os encarregados de obra responsáveis pelos serviços civis, hidráulicos e elétricos (ver roteiro das entrevistas no apêndice D). Essas entrevistas tinham por objetivo verificar como ocorria a interação destes agentes com os agentes de projeto, sobre o modo como os projetos eram repassados aos agentes de produção, sobre a quantidade e a adequação das informações disponibilizadas nos projetos.

Projetos, detalhamentos de projetos e memoriais descritivos

Embora os projetos, os detalhamentos de projetos e os memoriais descritivos do empreendimento Vivendas constituíssem importantes fonte de evidências sobre como a construtibilidade era considerada, a consulta a estes documentos ficou restrita às dependências da empresa (escritório do canteiro de obras). Este fato dificultou o uso dos indicadores selecionados, conforme havia sido previsto no plano de trabalho inicial do EC1. Além disso, havia um volume muito grande de projetos e detalhamentos de todas as especialidades

(arquitetura, estrutura, hidráulica, elétrica, interiores e paisagismo). Deste modo, a análise se restringiu à observação de características gerais que favorecessem os aspectos de construtibilidade e da capacidade dos projetos e detalhamentos em orientar as atividades de produção. A análise desses documentos também auxiliou na compreensão do sistema construtivo empregado no empreendimento Vivendas.

Manual de instruções técnicas

O manual de instruções técnicas (ver anexo A) discriminava cada um dos serviços de execução e seus respectivos pré-requisitos, projetos a serem consultados, materiais, equipamentos, ferramentas e equipamentos de segurança, além de informar sobre os passos para execução e os critérios de aceitação dos serviços (parâmetros de controle e tolerância). A análise deste manual, em conjunto com os projetos, detalhamentos e memoriais descritivos, visou a compreender o sistema construtivo empregado no empreendimento Vivendas. Além disso, a análise deste, em conjunto com o cronograma de construção do empreendimento Vivendas, possibilitou avaliar o nível de interdependência entre as atividades proporcionado pelo sistema construtivo adotado.

Planilha discriminativa de pranchas

A planilha discriminativa de pranchas era utilizada pelo coordenador de projeto para informar aos usuários dos projetos (agentes de produção), quais eram as versões atuais de cada projeto ou detalhamento. A partir dos dados disponíveis nessas planilhas, foi possível levantar o número total de pranchas elaboradas para cada disciplina de projeto, o número de pranchas que sofreram alteração e quantas vezes estas foram alteradas.

A figura 16 apresenta um extrato de uma das planilhas discriminativas de pranchas do empreendimento Vivendas. Como pode ser observado, cada prancha é identificada por um código que permite verificar o número total de alterações realizadas. Por exemplo, o código PE 01 C indica que a versão original da prancha (PE 01 A) já sofreu duas alterações. Entretanto, como a planilha apresentava apenas a data da última alteração, não foi possível estimar precisamente quantas alterações ocorreram após o início da obra. Assim, comparou-se a data da última versão, com a data de início das obras (janeiro de 2003) e quando aquela era posterior a data de início da obra, contabilizava-se uma alteração.

CONSTRUTORA E INCOPORP. A L F A		PLANILHA DISCRIMINATIVA DE PRANCHAS	
EMPREENDIMENTO: COND. VIVENDAS			
PROJETO: PROJETO EXECUTIVO (PE)			
DATA: 27/08/04			
RELAÇÃO DE PRANCHAS DESCRIÇÃO			
N.º	PROJETO EXECUTIVO	DATA ÚLTIMA VERSÃO	
PE 01 C	PLANTA IMPLANTAÇÃO RADIER	21/02/03	
PE 02 C	PERFIS PROJETO E CÁLCULO DE ATERROS E CORTES TERRENO	12/03/03	
PE 03 A	PERFIS ACESSO	20/12/02	
PE 04 C	CASA TIPO A – PLANTAS BAIXAS E CORTES	15/04/03	
PE 05 B	FACHADAS – CASA TIPO A	23/01/03	
PE 06 C	CASA TIPO B – PLANTAS BAIXAS E COTES	15/04/03	

Figura 16: Planilha discriminativa de pranchas

De forma complementar, buscou-se identificar junto aos projetistas as causas mais frequentes de alteração de projeto após o início das obras. Para isso, foi utilizado um formulário que está disponível no apêndice E. Deste modo, a estimativa do número de alterações ocorridas após o início da obra, bem como das causas para alterações de projeto neste período, visou a avaliar a eficácia dos esforços empreendidos nas etapas anteriores à etapa de construção, na solução das incompatibilidades entre projetos.

Acompanhamento de reuniões de programação semanal

A pesquisadora acompanhou três reuniões de planejamento semanal da produção. As reuniões de planejamento contavam com cerca de 12 participantes e tinham duração média de 35 minutos. Em geral, estavam presentes na reunião o engenheiro responsável pela obra (coordenador da reunião), estagiário de engenharia, mestre-de-obras, encarregados ou representantes dos fornecedores de serviços e eventualmente o gerente de produção da empresa.

As reuniões de planejamento semanal costumavam ser bastante objetivas. Inicialmente, eram verificadas as atividades programadas na semana anterior através da planilha de programação semanal (ver anexo B). As causas do não cumprimento de atividades programadas na semana anterior eram apenas mencionadas e anotadas na planilha de planejamento pelo coordenador da reunião. A partir dessas informações, também era possível calcular o PPC (percentual de

planos cumpridos). Esse indicador mede a proporção entre as atividades programadas que foram 100% concluídas e o total de atividades programadas. Entretanto, os resultados do PPC também não eram discutidos durante as reuniões.

O objetivo de acompanhar essas reuniões foi verificar a relação entre as causas do não cumprimento da programação semanal e a falta de construtibilidade. No entanto, verificou-se que as discussões das reuniões de planejamento não contribuíam com informações complementares, além daquelas disponíveis nas planilhas de programação. Assim, optou-se pela coleta dos dados a partir das planilhas de programação semanal, após a realização das reuniões.

A partir das planilhas foi levantada a frequência das causas do não cumprimento da programação entre os meses de junho e dezembro de 2004. Para analisar as causas raízes do não cumprimento da programação semanal, foi solicitado auxílio do gerente de produção, do engenheiro de obra e mestre de obras.

De forma complementar, foi utilizada a ferramenta FTA (*Failure Tree Analysis*), ou análise de árvores de falha, para investigar outras causas possíveis, além daquelas apontadas pelos agentes de produção. De acordo com Ribeiro (1995) a FTA é um método sistemático para análise de falhas que tem os seguintes objetivos: (a) partindo de um evento de topo, indesejável, identificar todas as combinações de causas que podem originá-lo; (b) estimar a probabilidade de ocorrência dessas causas e, em função disso, do evento de topo; (c) priorizar ações que visam a bloquear essas causas.

Assim, buscou-se identificar possíveis causas do não cumprimento da programação que tivessem relação com a falta de construtibilidade. Entretanto, o emprego da ferramenta se ateve apenas à identificação das causas possíveis, não tendo sido estimada a probabilidade de ocorrência, nem priorizadas ações que visassem o bloqueio das mesmas.

Seminários de Produção

Foram analisadas as atas de oito seminários de produção realizados pela empresa entre os anos de 2001 e 2002. Durante o período em que a pesquisa estava sendo realizada, não foram programados seminários de produção. Estes seminários contavam com a presença dos funcionários da empresa ligados à produção (gerente de produção, gerente de atendimento ao

cliente, engenheiros de obra, inspetor de qualidade e mestres de obra) e tinham como objetivo principal promover um intercâmbio entre os agentes de produção das diferentes obras da empresa e discutir problemas e sugestões para implementar melhorias no processo de produção.

A principal base de dados para as discussões dos seminários de produção era proveniente dos formulários de sugestão para ação corretiva e preventiva (ver anexo C) disponibilizados no canteiro para os funcionários. Neste formulário, os funcionários anotavam problemas e sugestões para melhorar o desempenho das atividades no canteiro. Para cada sugestão era definida uma ação, um responsável e o prazo para implementação da mesma. Assim, o objetivo de analisar essas atas foi verificar como os seminários poderiam contribuir para consideração dos aspectos de construtibilidade, bem como identificar boas práticas de construtibilidade.

Relatórios de acompanhamento das obras da construtora

A cada dois meses, um especialista em alvenaria estrutural, contratado pela construtora, visitava as obras em andamento com o objetivo de avaliar a conformidade do processo de execução da alvenaria com os projetos e recomendações técnicas. Além disso, ele auxiliava no diagnóstico e solução de patologias identificadas em unidades residenciais entregues e coletava amostras para controle tecnológico dos blocos de concreto, argamassas, grautes e concretos utilizados na pré-fabricação de peças no canteiro.

Foram analisados 12 relatórios elaborados por esse consultor entre os meses de fevereiro de 2003 e janeiro de 2005. Os relatórios analisados reuniam um total de 320 registros fotográficos e comentários referentes às conformidades e não conformidades encontradas durante as visitas do consultor às obras da empresa. Os registros associados às não conformidades foram analisados segundo dois critérios: a) a relação com a falta de construtibilidade; b) no caso de haver relação, identificar de que modo a não conformidade impacta a construtibilidade; e c) no caso de não haver relação, identificar de que modo a não conformidade interfere na efetivação dos benefícios potenciais previstos no projeto do produto e do processo, em decorrência da consideração da construtibilidade.

É importante ressaltar que o relatório compreendia registros de conformidades e não conformidades levantadas em todos os empreendimentos em andamento naquele período. Além disso, esses registros não eram separados por empreendimento, de modo que não foi possível identificar aqueles relacionados especificamente ao empreendimento Vivendas.

Visitas ao canteiro de obras

Foram feitas visitas periódicas ao canteiro de obras ao longo do EC1. A partir dessas visitas, foi possível avaliar aspectos relativos à organização e acessibilidade do canteiro, bem como identificar problemas relacionados a não conformidades no processo de execução. As visitas ao canteiro de obras possibilitaram a verificação de informações coletadas por meio de outras fontes de evidência, como as entrevistas e os relatórios de acompanhamento das obras.

Check-list de boas práticas em construtibilidade

Ao longo do EC1, foi solicitado a dois agentes de projeto (projetista de arquitetura e estruturas) e a três agentes de produção (gerente de produção, engenheiro de obra e inspetor de qualidade), o preenchimento da versão preliminar do *check-list* de boas práticas em construtibilidade, bem como o preenchimento do formulário de avaliação do mesmo, com vistas ao aperfeiçoamento da ferramenta proposta. Como o *check-list* foi dividido em duas partes, sendo uma relacionada a boas práticas aplicáveis ao projeto do produto e outra ao projeto do processo, os agentes foram solicitados a preencher apenas uma das partes do *check-list*, relativa a sua área de atuação, com exceção do gerente de produção e inspetor de qualidade, que preencheram ambas as partes.

A análise dos resultados do preenchimento do *check-list*, bem como do formulário de avaliação, possibilitou um aprimoramento da versão preliminar do *check-list*, que resultou na versão final apresentada no apêndice A. Nesta versão final também foram incluídos novos itens referentes às boas práticas de construtibilidade identificadas na empresa durante o estudo.

3.3.2.3 Discussão dos Resultados do EC1

Nesta etapa, os dados coletados foram tabulados e analisados pela pesquisadora conforme os critérios estabelecidos (ver figura 17). Alguns dos resultados parciais, como, por exemplo, a árvore de falhas elaborada a partir dos dados da planilha de programação semanal e o mapa do PDP da empresas, foram discutidos com o gerente de produção e com o projetista de arquitetura visando validar os mesmos.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	EVIDÊNCIAS	FONTES DE EVIDÊNCIA
Influência da organização do PDP na construtibilidade	<ul style="list-style-type: none"> Nível de interação entre agentes de projeto e produção; Nível de interação dos agentes de projetos entre si; Frequência de participação dos agentes de projeto na fase de construção. 	<ul style="list-style-type: none"> Entrevistas
Extensão pela qual a construtibilidade é considerada no projeto	<ul style="list-style-type: none"> Adequação do projeto à tecnologia construtiva empregada; Adesão aos princípios de construtibilidade; Capacidade do projeto de subsidiar o processo construtivo; Índice de Construtibilidade do projeto; Nível de racionalização construtiva incorporada ao projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> Projetos e detalhamentos; Memoriais descritivos; Índice de Construtibilidade; Entrevistas.
Influência do sistema construtivo empregado na construtibilidade	<ul style="list-style-type: none"> Redução do tempo de execução; Redução do número de atividades conduzidas dentro do canteiro; Nível de racionalização incorporada; Redução da interdependência entre atividades; Redução da necessidade de cortes e ajustes no canteiro. 	<ul style="list-style-type: none"> Manual de instruções técnicas; Projetos e detalhamentos; Memoriais descritivos Cronograma; Visitas ao Canteiro.
Influência da Organização do empreendimento na construtibilidade	<ul style="list-style-type: none"> Influência da forma de contratação na construtibilidade; Influência da forma de captação de recursos na construtibilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Entrevista; Planilhas de Programação Semanal; Observação Participativa: reuniões de Programação Semanal;
Extensão pela qual a construtibilidade é considerada no projeto do processo	<ul style="list-style-type: none"> Índice de construtibilidade da produção; Adesão aos princípios de construtibilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Cronograma; Planilhas de Programação Semanal; Visitas ao canteiro
Influência da ocorrência de não conformidades durante a construção, no nível de construtibilidade incorporado no projeto do produto e do processo	<ul style="list-style-type: none"> Nível de construtibilidade efetivado durante a etapa de construção. 	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios de acompanhamentos das obras;

Figura 17: Critérios, evidências e fontes de evidência no EC1

3.3.3 Estudo de Caso 2 (EC2)

Tendo em vista o fato do EC1 ter iniciado quando pelo menos 60% da etapa de construção já havia sido concluída, não foi possível recuperar parte das informações sobre a construção da casa modelo, realizada logo no início da etapa de construção do empreendimento. A casa modelo funciona como protótipo das demais unidades a serem construídas, constituindo importante momento do PDP, na medida que permite implementar pequenas melhorias no produto, bem como identificar e resolver interferências nas interfaces das diferentes disciplinas de projeto. Deste modo, o EC2 foi realizado no empreendimento Lunas com o principal objetivo de acompanhar a construção da casa modelo e, assim, verificar a contribuição desta atividade do PDP na melhoria da construtibilidade. Como objetivo secundário, o EC2 buscou avaliar as contribuições das etapas iniciais do PDP na promoção da construtibilidade.

O período de coleta de dados do EC2 teve duração de 5 meses. A figura 18 situa o período de coleta de dados no âmbito do cronograma global do empreendimento Lunas.

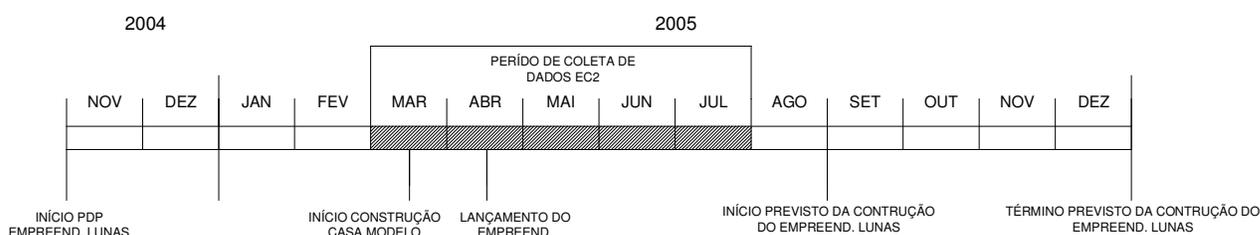


Figura 18: Identificação do período de coleta de dados em relação ao PDP do empreendimento Lunas

3.3.3.1 Fase Preparatória do EC2

Simultaneamente ao EC1, foi elaborada uma proposta inicial para a realização do estudo visando a esclarecer os objetivos deste, os dados que deveriam ser coletados e de que modo seriam coletados. Esta proposta foi apresentada e aprovada pela construtora Alfa em março de 2005.

Assim, foi feita inicialmente uma visita ao empreendimento, com o objetivo de coletar informações gerais sobre o mesmo, tais como: infra-estrutura do condomínio, número e

modelos de residências e cronograma de construção da casa modelo. A partir dessas informações preliminares, o plano inicial de trabalho foi readequado considerando os dados disponíveis para coleta. A figura 19 apresenta as fontes de evidência adotadas para o EC2.

FONTES DE EVIDÊNCIA EC2
Entrevistas semi-estruturadas: agentes de produção
Observação participativa: reuniões entre agentes de projeto e produção após a construção da casa modelo e reuniões de programação semanal.
Documentação: reuniões realizadas entre os agentes de projeto; compatibilizações de projeto após a construção da casa modelo.

Figura 19: Fontes de evidência utilizadas no EC2

3.3.3.2 Fase de Desenvolvimento do EC2

Reuniões entre agentes de projeto e construtora

Tendo em vista que o EC2 teve seu início quando as etapas iniciais do PDP já haviam sido concluídas, buscou-se resgatar os tópicos discutidos nas reuniões entre projetistas e a construtora naquele período, por meio das atas das reuniões. Este fato inclusive, limitou a análise dos dados produzidos nestas reuniões, que tinham como objetivos definir os requisitos do cliente e discutir soluções a serem empregadas nos projetos do empreendimento, tais como, adoção de ventilação eólica nos banheiros, geminação das casas duas a duas e projeto de rede elétrica subterrânea. A partir da análise das decisões tomadas nesta etapa, buscou-se verificar a preocupação com os aspectos de construtibilidade assim como oportunidades para consideração dos aspectos de construtibilidade desde essa etapa.

Foram analisadas atas de duas reuniões realizadas no mês de dezembro de 2004. O formulário padrão da ata de reunião de onde foram extraídos os dados armazenados, além de informações básicas como data, duração e participantes, as soluções para cada um dos itens tratados, bem como nome do responsável e prazo de implementação das mesmas (ver anexo D).

Reuniões de programação semanal durante a construção da casa modelo

Foram acompanhadas quatro reuniões de programação semanal durante a execução da casa modelo. Estas reuniões tinham duração de 40 minutos em média e eram realizadas dentro da casa em construção. Em geral, os participantes eram: o gerente de produção (coordenador da reunião), o estagiário de engenharia, o mestre-de-obras e os encarregados de construção civil, hidráulica e elétrica. Os objetivos de acompanhar essas reuniões foram identificar as dificuldades e problemas surgidos durante a execução, o impacto destes na construtibilidade e identificar a possibilidade de melhorar a construtibilidade a partir dos problemas identificados nesta etapa do PDP. Portanto, não foram coletados dados relativos às causas do não cumprimento da programação semanal como ocorreu no EC1. Não foram discutidas durante essas reuniões, dúvidas técnicas ou causas do não cumprimento das atividades da semana anterior. Alguns poucos comentários realizados durante as reuniões sobre problemas de projeto, como por exemplo, o caso das lajes de entepiso que tiveram de ser redistribuídas, foram melhor investigados através de outras evidências como, por exemplo, reuniões entre agentes de projeto e produção.

Entrevistas com agentes de produção

No período de construção da casa modelo, foram feitas entrevistas semi-estruturadas com alguns dos agentes de produção envolvidos na sua execução (mestre-de-obras, encarregados de construção civil e de instalações elétricas). Estas entrevistas visaram obter as percepções desses agentes com relação aos benefícios decorrentes da construção da casa modelo, da natureza dos ajustes realizados nesta etapa, da quantidade e qualidade das informações de projeto, do apoio dado pelos projetistas na compreensão dos projetos e resolução dos problemas surgidos. O roteiro utilizado nestas entrevistas está disponível no apêndice F.

Reuniões entre agentes de projeto e produção após construção da casa modelo

Foram realizadas pelo menos três reuniões entre agentes de projeto e produção após a construção da casa modelo. Destas reuniões, duas foram acompanhadas. O objetivo das reuniões era discutir soluções para problemas identificados durante a execução. Durante o acompanhamento das reuniões, buscou-se observar como os agentes de produção contribuíam

para que as necessidades de produção fossem consideradas, assim como identificar a relevância das alterações de projeto realizadas para a promoção da construtibilidade.

Compatibilização de projetos após a construção da casa modelo

Em função das alterações de projeto surgidas a partir da construção da casa modelo, uma nova rodada de compatibilizações foi realizada, já que cada alteração podia repercutir em uma ou mais disciplinas de projeto. A fim de avaliar de forma complementar as alterações surgidas a partir da construção da casa modelo, foram analisados sete e-mails enviados pelo coordenador de projeto aos projetistas de estrutura e sistemas prediais, entre os meses de junho e julho de 2005. Estes e-mails foram disponibilizados pelo coordenador do projeto e continham solicitações de modificação de projeto que visavam a compatibilização dos mesmos.

3.3.3.3 Discussão dos Resultados do EC2

Nesta etapa, os dados coletados foram tabulados e analisados pela pesquisadora de acordo com os critérios e variáveis de análise apresentados na figura 20. Estes critérios visaram avaliar a contribuição da construção da casa modelo, bem como das etapas iniciais do PDP para promoção da construtibilidade. Com base nesses critérios, foi feita uma discussão sobre os resultados do EC2.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	EVIDÊNCIAS	FONTES DE EVIDÊNCIA
Relevância da casa modelo para a melhoria da construtibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Percentual de alterações de projeto que promoveram atendimento aos requisitos de produção; • Relevância das alterações que promoveram atendimento aos requisitos de produção; • Facilidade de identificação de falhas no projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento de reuniões entre agentes de projeto e produção; • Entrevistas com agentes de produção; • Acompanhamento reuniões de programação semanal; • Compatibilização dos projetos após construção da casa modelo.
Contribuição dos agentes de produção ao longo do PDP	<ul style="list-style-type: none"> • Percentual de sugestões dos agentes de produção acatadas pelos agentes de projeto; • Relevância das alterações que promoveram atendimento aos requisitos de produção; • Frequência de reuniões entre agentes de projeto e produção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento de reuniões entre agentes de projeto e produção; • Atas das reuniões realizadas entre agentes de projeto e construtora.
Contribuição das etapas iniciais do PDP na promoção da construtibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Interferência das decisões tomadas nas etapas iniciais do PDP na construtibilidade; • Importância de considerar a construtibilidade nas etapas iniciais do PDP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atas reuniões realizadas entre agentes de projeto e construtora

Figura 20: Critérios, evidências e fontes de evidência no EC2

3.4 AVALIAÇÃO GLOBAL DOS RESULTADOS E PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES

Nesta etapa, os dados coletados nos estudos de caso foram analisados de forma conjunta e complementar, já que o segundo estudo de caso visou a esclarecer aspectos do PDP que não ficaram claros com a realização do primeiro estudo de caso, como a contribuição da construção da casa modelo e das etapas iniciais do PDP na promoção da construtibilidade. Com base nas análises individuais dos estudos de caso, na análise global dos dados, bem como nos conhecimentos adquiridos com a revisão da bibliografia, foram formuladas as diretrizes para consideração dos aspectos de construtibilidade de forma integrada ao PDP.

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DA FASE PREPARATÓRIA DO EC1

As obras do empreendimento Vivendas foram iniciadas em janeiro de 2003 e tinham o término previsto para junho de 2005. O condomínio horizontal Vivendas constituía-se de 182 unidades residenciais, com quatro opções de projeto, implantado em um terreno de aproximadamente 17,5 mil metros quadrados, como pode ser visto na figura 21. O empreendimento também dispunha de infra-estrutura de lazer composta por salão de festas, piscinas adulto e infantil, *playground*, quadra poliesportiva, *fitness* com *spa* e salão de jogos. A execução do empreendimento compreendia 18 fases, sendo que em cada fase eram construídas e entregues cerca de 10 unidades residenciais, em um prazo de aproximadamente 90 dias. Em média, eram construídas simultaneamente duas fases do empreendimento. Durante o período em que foi realizada a pesquisa, a empresa executou as fases 7,8, 9,10,11,12 e 13 do empreendimento Vivendas.

Foram identificados dois grupos principais de intervenientes no PDP da construtora Alfa. Um grupo era o dos profissionais terceirizados para elaboração do projeto e o outro de membros da construtora envolvidos no PDP, como ilustrado na figura 22. A empresa Alfa possui uma relação de parceria com os profissionais de projeto contratados. Isso significa que a construtora busca contratar sempre os mesmos profissionais, de modo que estes, com o conhecimento e experiência que vão sendo adquiridos no projeto dos CH, possam contribuir para o aperfeiçoamento do produto da empresa.

O escritório de arquitetura contratado pela construtora Alfa era um parceiro que vinha prestando serviços para a empresa desde o primeiro condomínio horizontal lançado em 1999. As principais atribuições do escritório de arquitetura eram: lançamento do estudo preliminar, desenvolvimento do projeto arquitetônico, elaboração de detalhamentos para execução e coordenação dos diferentes projetos.

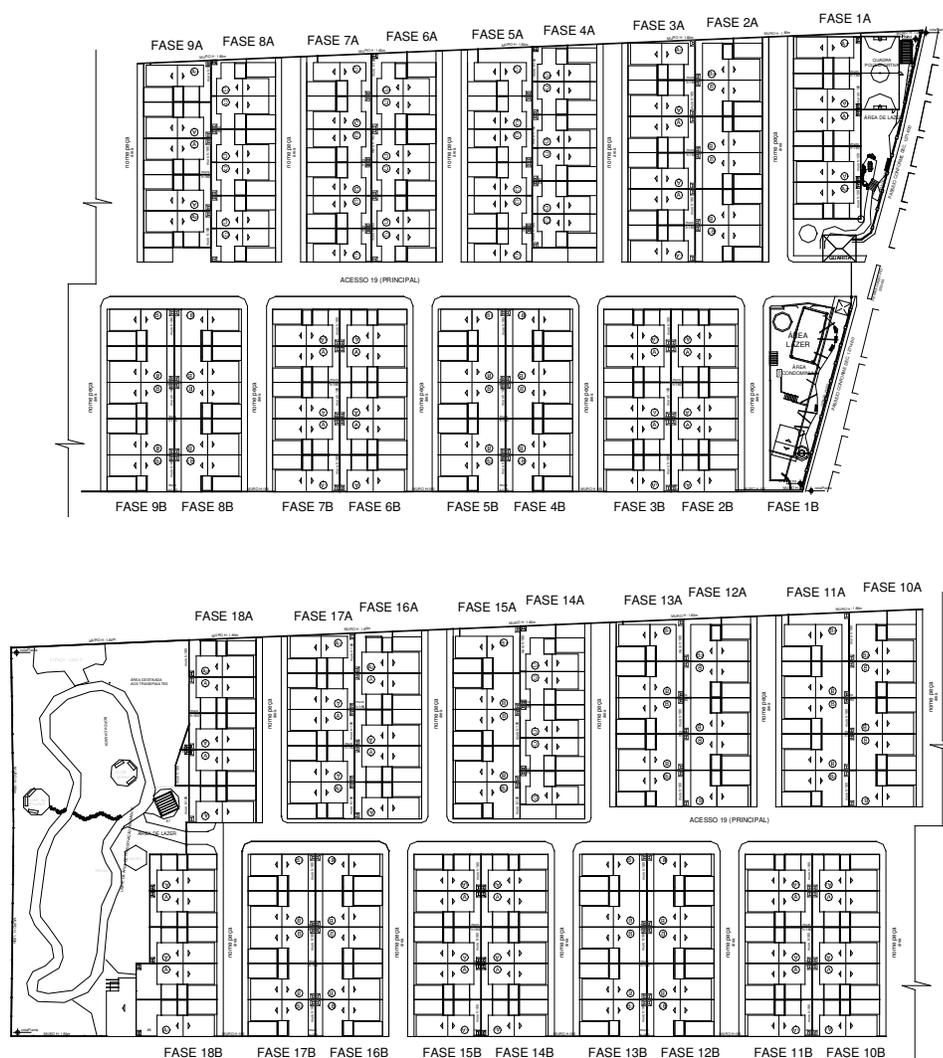


Figura 21: Implantação do Empreendimento Vivendas

Antes de serem encaminhados à construtora, os projetos recebiam a revisão do coordenador de projeto, o qual realizava a compatibilização deste com os projetos das demais disciplinas. Havendo incompatibilidades, era solicitada correção ao(s) respectivo(s) projetista(s). O controle das alterações de projeto era disponibilizado pelo coordenador aos usuários (agentes de produção) através das planilhas discriminativas de plantas, onde se informava qual a versão atual de cada projeto. Isso evitava que uma versão desatualizada fosse utilizada no canteiro.

Além do escritório de arquitetura, a empresa Alfa contratou outros quatro escritórios para desenvolvimento das demais especialidades de projetos: estrutural e de fundações, hidráulico, elétrico e telefônico, interiores e paisagismo. Os projetos desenvolvidos pelos escritórios

incluíram os projetos tradicionalmente desenvolvidos, bem como detalhamentos para execução. Entretanto, o escritório de projeto estrutural também elaborou alguns projetos para produção da alvenaria estrutural.

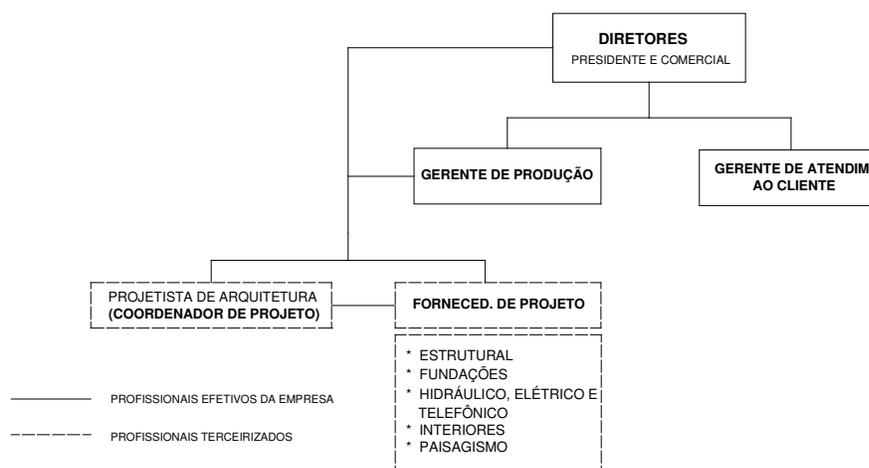


Figura 22: Intervenientes do PDP da construtora Alfa

Com relação à empresa construtora, os principais intervenientes no PDP eram: os diretores, gerente de produção e o gerente de atendimento ao cliente. Os diretores (presidente e comercial) eram responsáveis pela negociação e compra do terreno, busca de financiamentos e aprovação das soluções de projeto. Já o gerente de produção atuava como intermediador entre a construtora e projetistas contratados. Era responsável por informar aos projetistas as características tecnológicas do produto, bem como por buscar novas opções de materiais no mercado e analisar, junto à direção, a viabilidade de emprego dos mesmos. Por fim, o gerente de atendimento ao cliente era encarregado pelo intercâmbio entre empresa e cliente final. O gerente de atendimento acompanhava o desempenho das vendas e avaliava as impressões dos clientes potenciais quanto aos produtos ofertados. Além disso, era o responsável pela avaliação de satisfação e atendimento às solicitações de manutenção de clientes já instalados.

A figura 23 apresenta os principais envolvidos no processo de produção. Foram identificados dois grupos distintos de agentes: a construtora e os fornecedores de serviço. A execução do empreendimento era coordenada pelo engenheiro responsável, estagiário de engenharia e mestre-de-obras. Cada fornecedor de serviço tinha um encarregado que era responsável pela coordenação dos trabalhos de sua respectiva equipe.

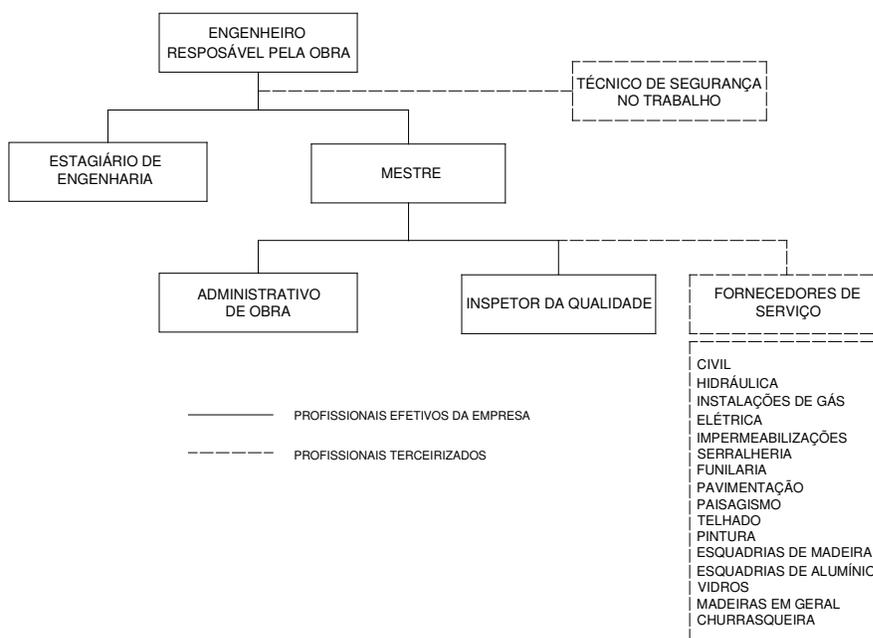


Figura 23: Agentes do processo de produção construtora Alfa

4.2 RESULTADOS DA FASE DE DESENVOLVIMENTO DO EC1

4.2.1 Mapa do PDP da construtora Alfa

As entrevistas realizadas com os agentes de projeto e produção permitiram elaborar um mapa simplificado do PDP da empresa, como ilustra a figura 24. Este mapa foi elaborado com base no modelo proposto por Tzortzopoulos (1999). Na figura 24 é possível visualizar, além do seqüenciamento das principais atividades do PDP da construtora, as atividades que se desenvolvem de forma possivelmente simultânea (atividades agrupadas por um retângulo na figura 24), bem como aquelas onde a construtibilidade vem sendo considerada (atividades destacadas com hachuras). O modo como as atividades selecionadas (com hachuras) contribuem para a promoção da construtibilidade é comentado ao longo desta seção. A seguir, é feita uma descrição geral das etapas que compõem o PDP da empresa Alfa.

O processo inicia na etapa de planejamento e concepção do empreendimento, a partir da busca de oportunidades de negócio no mercado pelos membros da direção (diretores presidente e comercial). Adquire-se um terreno (normalmente pelo sistema de permuta) e, a partir de então, o projetista de arquitetura inicia sua participação no processo com uma visita ao local.

Com base na legislação municipal e dados topográficos, o projetista de arquitetura analisa o potencial construtivo do terreno. Em seguida, uma primeira reunião entre o projetista, diretores, gerentes de produção, de atendimento ao cliente e comercial é realizada com o objetivo de definir a caracterização física geral do empreendimento, como infra-estrutura de lazer, número de opções de plantas e número de dormitórios das unidades. Nesta etapa não foi identificado indício de que os aspectos de construtibilidade fossem levados em conta.

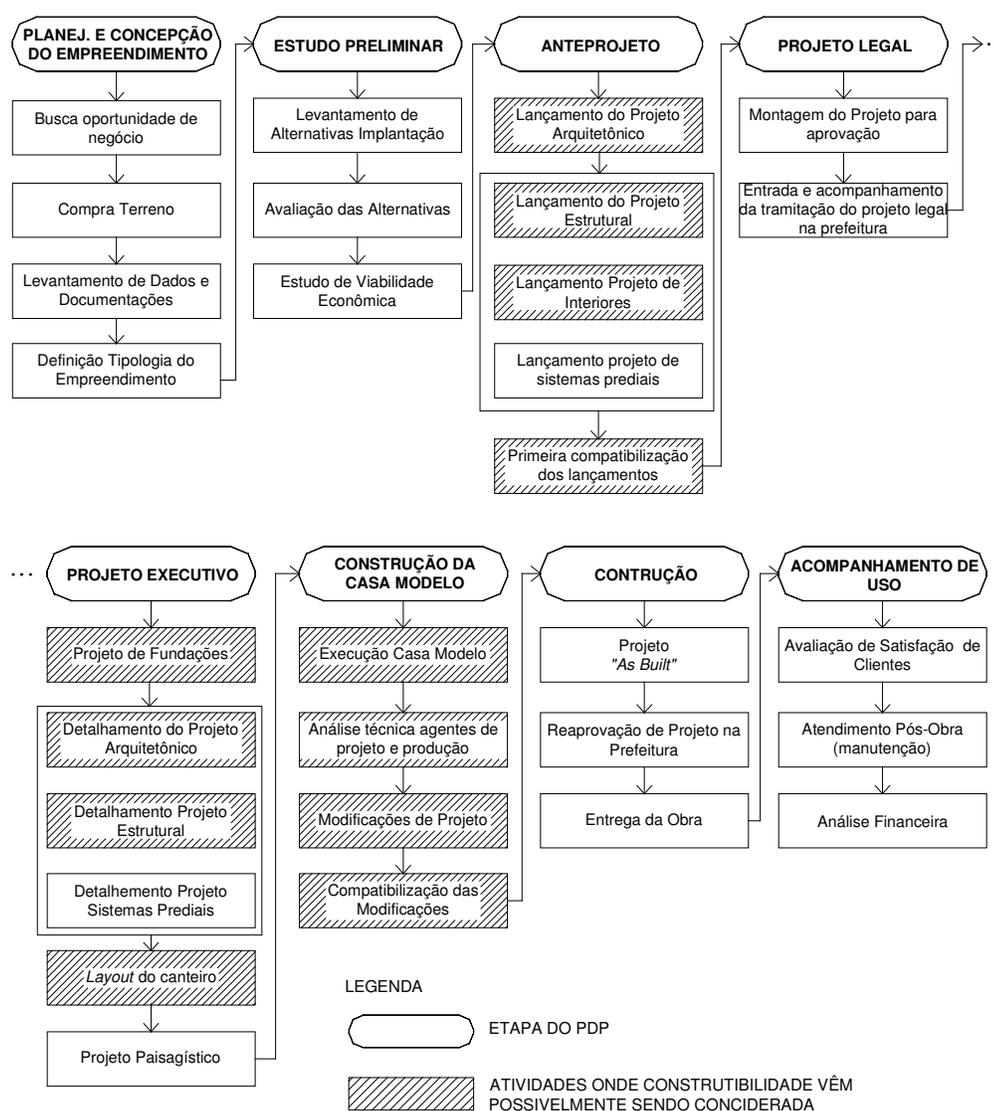


Figura 24: Mapa PDP da construtora Alfa

Na etapa de estudo preliminar o projetista de arquitetura elabora propostas de implantação do empreendimento, apresentando-a para a construtora e negocia o número de unidades. Há negociação nesta fase porque a empresa construtora já avaliou previamente o número

necessário de unidades que viabilizaria o empreendimento. Como na etapa anterior, não foi identificada preocupação com os aspectos de construtibilidade quando do lançamento de alternativas de implantação do empreendimento.

Uma vez aprovado o estudo preliminar, inicia-se a etapa de anteprojeto com o lançamento do projeto de arquitetura. O primeiro passo para o lançamento dos projetos estrutural, de sistemas prediais e interiores, consiste em uma reunião entre a equipe de projetistas e a construtora. Nesta reunião, são feitas definições sobre os requisitos de projeto a serem considerados pelos projetistas. Cada projetista leva uma lista de verificação para identificar os itens a considerar nos seus respectivos projetos. A lista de verificação do projetista de instalações hidráulicas, por exemplo, questiona a existência de itens como esperas para máquinas de lava-louças e máquinas de lavar roupas.

Foram verificadas algumas iniciativas favoráveis aos aspectos de construtibilidade na etapa de anteprojeto, tais como: elaboração do projeto considerando o sistema construtivo a ser utilizado; cedo envolvimento de todos os agentes de projeto, possibilitando o entrosamento necessário para solucionar as interferências entre os projetos de arquitetura, estruturas, sistemas prediais e interiores que surgem nesta etapa. Vale esclarecer que o projeto de interiores está relacionado, neste caso, com definições sobre o posicionamento adequado de pontos hidráulicos e elétricos, paginação de pisos e azulejos, dentre outros.

Uma vez lançado o projeto estrutural, projeto de interiores e sistemas prediais, o arquiteto, responsável pela coordenação do projeto, realiza o primeiro trabalho de compatibilização dos projetos, manualmente, por meio de comparações. As incompatibilidades são comunicadas aos projetistas que procedem as correções e lançam novas versões dos projetos. Sob o ponto de vista da construtibilidade, esta atividade assume papel fundamental, ao evitar que decisões relacionadas à compatibilização dos projetos sejam tomadas no canteiro. Na etapa seguinte, o projetista de arquitetura prepara o projeto legal e encaminha o mesmo para aprovação na prefeitura. Como a etapa de projeto legal não requer soluções de projeto, nenhuma iniciativa favorável à construtibilidade é desenvolvida nesta etapa.

Na etapa de projeto executivo, observa-se novamente a condução simultânea de atividades, que, neste caso, refere-se ao detalhamento dos projetos de arquitetura, estrutural e sistemas prediais. De acordo com os projetistas, os contatos são praticamente diários por meio de e-mails e telefonemas. Novamente, a motivação para existir uma maior interação entre estes

profissionais nesta etapa são as interferências entre os projetos. A cada nova alteração de projeto surgida, são realizados pelo coordenador do projeto, novos ciclos de compatibilização e todas as versões dos projetos são então arquivadas. O entrosamento entre os agentes de produção, bem como a realização de atividades de compatibilização, são as principais contribuições desta etapa para a promoção da construtibilidade.

Antes da construção propriamente dita, cada modelo de planta é construído com a finalidade de servir de modelo para compradores potenciais, bem como permitir a avaliação e aperfeiçoamento dos aspectos produtivos, funcionais e de desempenho. Durante a execução da casa modelo, os problemas de compatibilidade entre os projetos são identificados e registrados pelos agentes de produção. Após a conclusão da casa modelo, esses problemas são discutidos em conjunto com os agentes de projeto, que registram as alterações necessárias em novas versões dos projetos. Este período é caracterizado por uma série de ajustes no projeto, de modo que, ao final, os projetos tenham suas interfaces bem resolvidas. Esta talvez seja a etapa em que ocorrem os maiores ganhos em termos de construtibilidade no PDP da empresa, tanto pela possibilidade de avaliar um modelo real (protótipo), bem como pelo forte envolvimento de agentes de produção.

Durante a construção do empreendimento, os projetistas continuam à disposição da construtora para auxiliar na solução de eventuais problemas surgidos nesta etapa. Este também é um aspecto importante sob o ponto de vista da construtibilidade, tendo em vista que o acompanhamento desta etapa permite que os projetistas tomem conhecimento dos problemas ocorridos, para que não voltem a repeti-los em projetos futuros.

Nesta etapa o desempenho das vendas é avaliado, bem como as impressões dos clientes potenciais sobre o produto. No empreendimento Vivendas, por exemplo, a construtora Alfa oferecia um modelo de casa com quatro dormitórios e constatou que havia muito pouco interesse por esse modelo. Assim, a construtora decidiu readequar o produto, eliminando um dos quartos, ampliando o *living* e relançando o produto em uma série limitada. Na última etapa, acompanhamento de uso, são feitas avaliações de satisfação dos clientes instalados para realimentar o processo de elaboração do projeto de futuros empreendimentos, além de atendimento a solicitações de manutenção e avaliação financeira do empreendimento. Nenhuma atividade associada à construtibilidade foi identificada nesta etapa.

4.2.2 Sistema construtivo

Através da análise dos projetos, memoriais descritivos, do manual de instruções técnicas, bem como de visitas feitas ao canteiro, foi possível levantar informações sobre o sistema construtivo empregado pela empresa Alfa. A descrição do sistema construtivo é apresentada no apêndice G. Vale esclarecer que a empresa utiliza o mesmo sistema construtivo para todos os seus empreendimentos, de modo que a descrição apresentada no apêndice G, embora tenha tido como base os dados do empreendimento Vivendas, é válida para uma análise geral das práticas da empresa, em termos de sistemas construtivos.

A seguir, são apresentadas as boas práticas de construtibilidade relacionadas ao sistema construtivo utilizado pela construtora. Todas as boas práticas identificadas favorecem o princípio da simplificação:

- a) fundação tipo *radier* funciona como contrapiso de concreto, eliminando a etapa de execução do mesmo;
- b) uso de aço cortado e dobrado para execução do *radier* elimina etapa de corte e dobra no canteiro;
- c) alvenaria estrutural armada funciona, ao mesmo tempo, como vedação e como estrutura. Peças estruturais como pilares, cintas de amarração, vergas e contravergas são executadas no interior dos blocos comuns e do tipo canaleta, dispensando a montagem de fôrmas. Além disso, as instalações hidráulicas e elétricas são facilitadas, já que, com exceção do tubo de esgoto de 100mm, as demais tubulações e eletrodutos podem ser encaixados nos furos dos blocos (90mm), sem a necessidade de quebra na alvenaria;
- d) as lajes pré-fabricadas combinam as atividades de montagem de fôrmas, colocação de armadura, montagem de eletrodutos e concretagem numa única atividade, isto é, a colocação dos painéis de laje na posição final;
- e) emprego de argamassa industrializada multiuso facilita o preparo das massas para execução dos revestimentos, já que é necessário dosar apenas a água para fazer a mistura. Além disso, pode-se dizer que este é um exemplo de padronização, já que os tipos de revestimentos argamassados foi minimizado;

- f) acabamento externo em textura acrílica requer menos passos na aplicação quando comparado ao sistema convencional. Assim, basta uma demão de selador sobre o reboco e em seguida aplica-se a textura;
- g) uso de piso box combina os serviços de impermeabilização e assentamento de pisos;
- h) blocos inter-travados facilitam serviços de pavimentação, já que só necessitam de base compactada e camada de areia para assentamento dos mesmos.

Quanto aos métodos de construção, foram empregados os métodos de pré-fabricação e fabricação fora do local de aplicação. Assim, tanto a produção de vergas e contra-vergas no canteiro, quanto o uso de lajes pré-fabricadas por empresa terceirizada constituem exemplos de aplicação desses métodos, conforme a definição apresentada no item 2.5.4 (Pré-fabricação, Pré-montagem, Modularização e Montagem Fora do Local Definitivo). O emprego desses métodos permitiu que atividades fossem conduzidas em paralelo, tanto dentro quanto fora do canteiro, reduzindo a interdependência entre as atividades e resultando na redução do tempo de execução.

4.2.3 Entrevistas

4.2.3.1 Entrevistas com agentes de projeto

No que diz respeito às informações utilizadas para o desenvolvimento dos projetos, os projetistas relataram que se inclui, entre estas, as informações originadas da experiência adquirida em projetos anteriores. Observou-se que a tendência de contratar sempre os mesmos projetistas, somado ao fato da empresa incorporar somente condomínios horizontais, tem contribuído para que o produto da empresa evolua continuamente. Para comprovar isso são apresentados a seguir, exemplos de melhorias citadas pelos projetistas entrevistados, que foram adotadas pela construtora Alfa a partir da experiência adquirida na construção de condomínios horizontais.

Nos primeiros condomínios horizontais da empresa, as fitas de casas¹⁶ acompanhavam o perfil natural do terreno, apresentando desnível uma em relação à outra. Com o tempo, percebeu-se que esta solução dificultava os trabalhos de locação e execução. Assim, a empresa passou a adotar a mesma cota de nível para as unidades residenciais de uma mesma fita.

Houve também simplificação no acabamento das fachadas. As molduras de gesso antes aplicadas nas fachadas eram onerosas, difíceis de executar e, exigiam mão-de-obra especializada para sua aplicação. Deste modo, a empresa optou por desenhar a moldura nas fachadas, apenas fazendo diferenciação de cores na pintura das fachadas. Outro exemplo diz respeito às alterações de projeto que possibilitaram a eliminação de rebaixo no forro da sala. De acordo com o projetista de estruturas, esta solução foi viabilizada por meio do emprego de bacia de saída horizontal no banheiro situado acima da sala de estar, emprego de piso-box (que permite acomodação da tubulação abaixo do mesmo), além de um encaminhamento adequado das tubulações e seu embutimento na alvenaria. Neste caso, uma solução de projeto viabilizou a eliminação de uma atividade, ou seja, a necessidade de executar rebaixo no forro da sala.

Como pode ser observado, a motivação principal para adotar uma solução inovadora esteve sempre relacionada diretamente com a redução dos custos, embora, nos casos citados, os aspectos de construtibilidade também tenham sido favorecidos.

Os projetistas também foram questionados quanto à existência ou não de critérios pré-determinados para desenvolvimento dos projetos. Percebeu-se que há uma maior preocupação por parte do projetista de estruturas, o qual mencionou a existência de critérios para conceituação do produto (sendo dada preferência a elementos pré-fabricados) e critérios de desempenho do produto (para evitar o surgimento de patologias).

Já o projetista de arquitetura, referiu-se a padrões estabelecidos pela empresa para elaboração do projeto de arquitetura. Por exemplo, foram mencionadas: a forma geométrica em “L” das unidades, a previsão de lavabo embaixo da escada e a cozinha tipo americana. De acordo com o projetista de arquitetura, esses padrões visam a obter melhor aproveitamento do espaço.

¹⁶ Fita de casa: corresponde a um conjunto ou faixa ininterrupto de unidades residenciais geminadas, construídas em um mesmo alinhamento. Na figura 15 do item 4.1., as fases do empreendimento estão divididas em duas fitas: A e B.

Quanto à interação com os demais projetistas, observou-se que há uma linha de contato mais intensa entre o projetista de arquitetura, que coordena o processo de projeto, com os demais projetistas. Isso não significa que os demais projetistas não estabeleçam contato direto entre si. Segundo os projetistas, este contato ocorre mais frequentemente na fase de detalhamento, quando as interferências entre os projetos de diferentes disciplinas ficam mais evidentes.

No que diz respeito à participação dos agentes de produção, ficou evidente que, no empreendimento Vivendas, não houve envolvimento destes nas etapas iniciais do PDP. No entanto, na etapa de construção da casa modelo (uma para cada modelo de planta), os agentes de produção tiveram a oportunidade de interagir com os projetistas, indicando possíveis problemas ou incompatibilidades observados durante a execução das mesmas. As contribuições da construção da casa modelo para a melhoria da construtibilidade são melhor investigadas no EC2.

Os projetistas também foram questionados quanto ao acompanhamento durante a fase de execução da obra. Verificou-se que os mesmos fizeram visitas mais frequentes na fase inicial, quando o projeto ainda estava sofrendo ajustes. Passada esta etapa, sempre que solicitados, os projetistas faziam visitas e auxiliavam na solução de problemas, ou ainda, elaboravam novos projetos. As visitas para acompanhamento não estavam previstas nas cláusulas de contrato com a empresa, ficando implícito que estas faziam parte dos serviços prestados.

4.2.3.2 Entrevistas com agentes de produção

De acordo com o mestre-de-obras, muitas vezes os agentes de produção tomam conhecimento de que um novo empreendimento será lançado somente quando o processo de elaboração do projeto está finalizado. No caso do empreendimento Vivendas, o mestre-de-obras relatou que houve interação entre agentes de projeto e produção, com o objetivo de analisar o projeto do empreendimento, somente durante a construção da casa modelo.

Alguns exemplos de modificações ocorridas durante a execução das quatro casas modelo do empreendimento Vivendas, foram relatados pelos agentes de produção. Essas modificações promoveram melhorias no atendimento a dois aspectos: funcionais e de produção. Como exemplo relacionado ao aspecto de produção, houve a substituição das vergas e contravergas

pré-fabricadas pela opção que utiliza blocos tipo calha. A proposta inicial resultava em uma peça muito pesada, o que dificultaria a instalação da mesma sem apoio de equipamentos.

De acordo com os relatos, os projetos não foram apresentados formalmente aos agentes de produção. As cópias dos projetos (revisados pelo coordenador de projetos), foram disponibilizadas para a construtora e esta, por sua vez, disponibilizou cópias para cada um dos encarregados dos sub-empregados, os quais repassaram para seus respectivos funcionários.

Procedendo desta forma, a probabilidade de haver dificuldades na interpretação das intenções dos projetistas aumenta. Apesar disso, os encarregados relataram que os projetos fornecidos eram, de modo geral, suficientes e bem detalhados. No entanto, os encarregados consideraram fundamentais os ajustes ocorridos durante a construção da casa modelo para que o projeto fosse aperfeiçoado.

Durante as entrevistas, também foram identificados exemplos de inconsistências entre projeto e processo produtivo. Um deles está relacionado à modulação da alvenaria. De acordo com o mestre-de-obras, é comum o encarregado não querer seguir o projeto de modulação da alvenaria, já que visualiza uma forma mais fácil e produtiva de executar. Entretanto, ao executar a alvenaria em desacordo com a modulação proposta, o trabalho de compatibilização da alvenaria com os sistemas prediais é comprometido. Outro fato citado pelo mestre-de-obras, diz respeito ao assentamento do piso conforme o projeto de paginação (coordenado dimensionalmente). Neste exemplo, em função da variabilidade inerente ao processo produtivo e do caráter artesanal das atividades desenvolvidas no canteiro, há necessidade de um esforço para garantir a precisão dimensional do ambiente para viabilizar o assentamento do piso conforme o projeto, comprometendo assim, a facilidade de execução.

Embora as reuniões entre agentes de projeto e produção após a casa modelo já sejam uma importante iniciativa na solução de inconsistências entre projeto e produção, os exemplos relatados deixam claro que há necessidade de maior interação entre agentes de projeto e produção quando da elaboração do projeto.

4.2.4 Análise dos projetos do empreendimento Vivendas

A figura 25 apresenta de forma simplificada, os quatro modelos de planta do empreendimento Vivendas, denominados de modelos A, B, C e D. De um total de 182 casas, estavam sendo construídas 76 casas do modelo A, 21 do modelo B, 35 do modelo C e 50 do modelo D. A seguir, são apresentados exemplos de boas práticas de construtibilidade identificadas no projeto do empreendimento Vivendas. As práticas identificadas estão associadas ao princípio da simplificação e padronização.

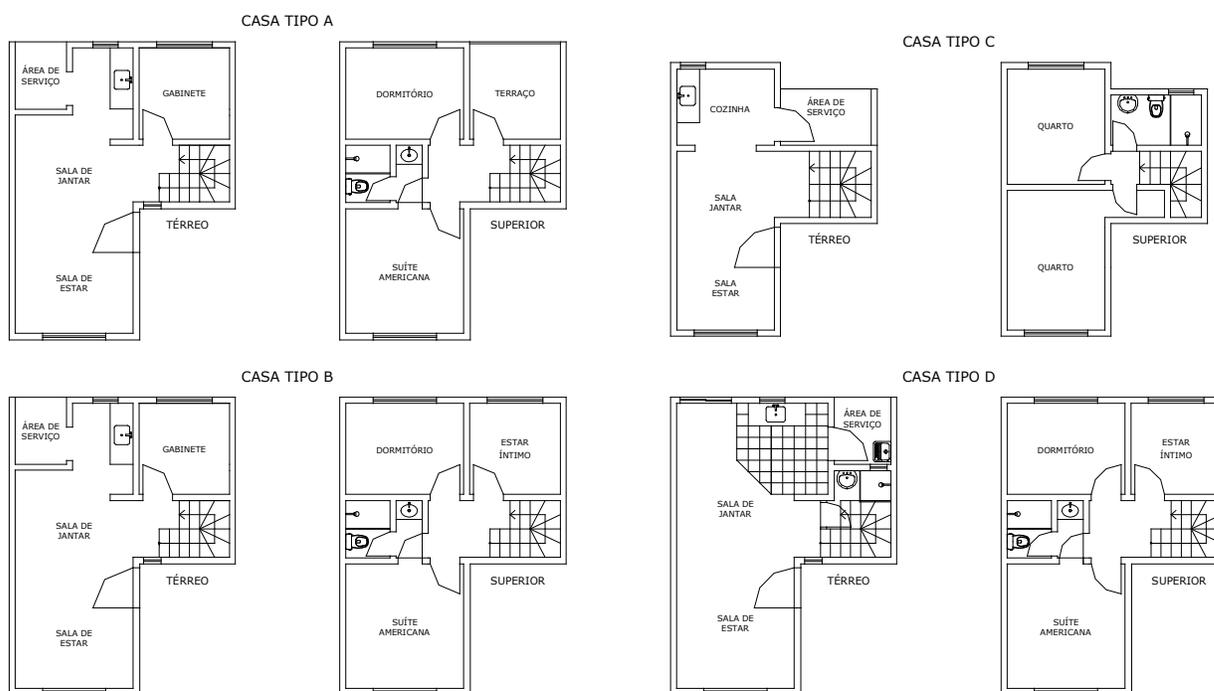


Figura 25: Modelos de planta do empreendimento Vivendas

4.2.4.1 Repetitividade

O primeiro aspecto que chama a atenção diz respeito à elevada repetição das plantas e suas partes. Cada modelo de casa foi construído pelo menos 21 vezes e, além disso, parte das plantas também foi repetida, como pode ser observado no pavimento superior dos modelos B e D na figura 25. A tabela 1 oferece uma idéia mais precisa sobre o número de vezes que o pavimento térreo e superior de cada modelo de planta foi construído.

Tabela 1: Número de repetições das plantas por modelo e por pavimento

Pavimento / Modelo	Repetições
Pavimento Térreo Modelo A e B	97
Pavimento Térreo Modelo C	35
Pavimento Térreo Modelo D	50
Pavimento Superior Modelo A, B e D	147
Pavimento Superior Modelo C	35

4.2.4.2 Minimização das modificações de projeto necessárias para oferecer variedade de *layout* interno

Outro aspecto favorável sob o ponto de vista da construtibilidade diz respeito à possibilidade de oferecer variedade de *layout* interno das unidades sem alteração da projeção original das paredes, como pode ser visto comparando-se o pavimento superior dos modelos A e B. O terraço no modelo A é utilizado como estar íntimo no modelo B. Brandão e Heineck (1998), destacam essa prática como uma alternativa que deve ser explorada visando atender à necessidade de oferecer opções de *layout* para os clientes, sem causar prejuízos às necessidades de construtibilidade, racionalização construtiva e produtividade. Nesse trabalho, aqueles autores apresentam vários exemplos de soluções de projeto que ilustram o quanto se pode produzir em termos de opções de *layout*, com reduzidas modificações construtivas nas paredes de alvenaria, mantendo-se a projeção da planta original.

4.2.4.3 Minimização dos recortes, ângulos, inclinações ou superfícies curvas

Considerando a configuração dos planos verticais, observou-se que as opções de planta atendem alguns aspectos de construtibilidade, como, por exemplo, inexistência de paredes curvas ou presença de ângulos diferentes de 90° no encontro entre paredes. Para auxiliar na análise das características geométricas das plantas, foram calculados os indicadores índice de compacidade (I_c) e densidade de paredes (D_p).

Com exceção do modelo C, os demais modelos seguem a mesma forma geométrica, inclusive com as mesmas dimensões. Sendo assim, foram calculados apenas dois valores de I_c e D_p , um referente ao modelo C e outro referente aos demais modelos, como pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2: Valores dos índices I_c e D_p para os modelos de planta do empreendimento Vivendas

Modelos	Índice de Compacidade (I_c)	Densidade de Paredes (D_p)
A, B e D	81,13%	16,1%
C	78,73%	18,7%
Benchmarks (LANTELME et al. 2001)	75,0%	15,0%

O modelo C, que apresenta mais reentrâncias em relação aos demais modelos, obteve um I_c ligeiramente menor. Entretanto, comparando os valores obtidos com os valores de referência do setor, todos os modelos apresentam valores ótimos, isto é, I_c superior a 75% (LANTELME et al. 2001). Deste modo, pode-se dizer que quanto maior o I_c , mais simplificada a forma geométrica tende a ser, favorecendo a construtibilidade. Já com relação ao índice densidade de paredes, quanto menor seu valor, mais a construtibilidade tende a ser favorecida, já que o número de operações produtivas é reduzido. Neste caso, ambos os valores ultrapassam o limite recomendado de 15% (LANTELME et al. 2001). No entanto, novamente o modelo C apresenta solução menos favorável, como pode ser observado na tabela 2.

4.2.4.4 Padronização dos elementos do projeto

Analisando os projetos de arquitetura, estrutural, elétrico, hidráulico, seus detalhamentos e memoriais descritivos, foi possível identificar a existência de padrões na elaboração e especificação de elementos de projeto, conforme exemplificado a seguir:

- a) como o sistema não admite quebra nos blocos, as dimensões de todas as aberturas (portas ou janelas) têm valores múltiplos da modulação dos blocos de

concreto. Além disso, um mesmo número de fiadas é assentado para cada pavimento, bem como para execução dos vãos de portas e janelas;

- b) com exceção do modelo C, os demais modelos utilizam a mesma escada pré-fabricada de madeira para acesso ao segundo pavimento.

4.2.5 Planilhas discriminativas de pranchas

Com base nas planilhas discriminativas de pranchas, foram coletados os dados ilustrados na tabela 3. A partir desses dados, buscou-se estimar um percentual médio de pranchas que sofreram alterações, bem como o número médio de alterações sofridas por estas.

Como pode ser visto na tabela 3, 428 pranchas foram elaboradas para o empreendimento. Esse elevado número se deve ao fato de que a empresa tem por prática elaborar projetos que vão além daqueles tradicionalmente desenvolvidos. Como exemplo, pode-se mencionar os projetos de interiores que orientam o processo de produção, tais como, paginação de pisos e paredes (com revestimento cerâmico), posicionamento de pontos hidráulicos e elétricos. Ainda são apresentadas nestes projetos as especificações dos materiais (dimensões, modelo e marca), bem como o quantitativo dos mesmos.

Tabela 3: Relação do número total de projetos e de modificações

Disciplina	N.º de pranchas	N.º de pranchas modificadas	Relação N.º de pranchas modificadas/N.º de pranchas	N.º total de modificações	Relação n.º de modificações/N.º de pranchas modificadas	N.º de modificações após início etapa de construção
Inst. Elétrica	13	12	0,92	18	1,5	pelo menos 12
Inst. Hidrául	16	14	0,87	25	1,78	pelo menos 14
Telefônico	7	1	0,14	04	4	pelo menos 1
Arquitetura	79	20	0,25	26	1,3	pelo menos 20
Estrutura	253	148	0,58	217	1,46	pelo menos 148
Interiores	37	---	---	---	---	---
Paisagismo	23	12	0,52	40	3,33	pelo menos 12
TOTAL	428	207	---	330	---	207
MÉDIA	---	---	0,47	---	1,51	---

A partir da tabela 3, observa-se que, dentre as disciplinas de projeto, aquela que apresenta o maior número de projetos é a de estrutura. Uma das razões para isto é o fato do projeto estrutural ser racionalizado e ter forte inter-relação com as demais disciplinas de projeto, demandando assim, maior número de detalhes.

A relação entre o número de projetos modificados e o número total de pranchas mostrou que, até o período em que a pesquisa estava sendo realizada (quando cerca de 80% da fase de construção já estava concluída), em média, 47% dos projetos sofreram pelo menos uma alteração após o início da obra e que, em média, cada projeto, dentre os alterados, sofreu 1,51 alterações. Entretanto, não foi possível identificar o número total de alterações ocorridas após o início da obra, já que a planilha de pranchas apresenta apenas a data da última alteração. Deste modo, comparou-se a data da última alteração com a data do início da obra (dezembro de 2002), para poder afirmar que pelo menos a última alteração ocorreu após o início da obra.

Para analisar as causas mais frequentes das modificações de projeto, a partir da construção da casa modelo, foi utilizado o formulário disponível no apêndice E. Deste modo, as incompatibilidades entre os projetos estrutural, elétrico e hidráulico foram apontadas pelo projetista de arquitetura (coordenador de projeto) como causas mais frequentes. De acordo com o projetista de arquitetura, essas incompatibilidades foram identificadas a partir de reuniões ocorridas na obra de execução da casa modelo. Além das incompatibilidades, o projetista de arquitetura citou alterações nas especificações de materiais e de detalhes construtivos com vistas a redução dos custos.

4.2.6 Planilhas de programação semanal

A partir dos dados disponíveis nas planilhas de programação semanal, foi levantada a frequência das causas do não cumprimento da programação entre os meses de junho e dezembro de 2004, conforme ilustra a figura 26.

Para melhor investigar a relação dessas causas com a falta de construtibilidade, foi utilizada a ferramenta da *árvore de falhas*, visando a desdobrar as causas identificadas em outras possíveis causas para o não cumprimento dos planos e assim, verificar se havia ou não relação

entre estas e a falta de construtibilidade. A árvore de falhas disponível no apêndice H, apresenta os resultados dessa análise.

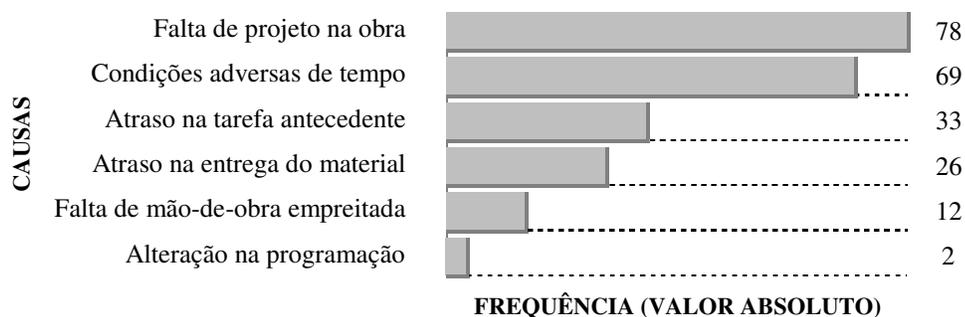


Figura 26: Causas do não cumprimento da Programação Semanal no empreendimento Vivendas entre meses de junho e dezembro de 2004

No topo da árvore de falhas aparece a falha no cumprimento da programação semanal, que pode ter sua origem em qualquer uma das causas identificadas em níveis inferiores da árvore. As causas possíveis relacionadas à falta de construtibilidade são discutidas a seguir.

A causa “falta de projeto executivo” tem entre as causas possíveis, relacionadas à falta de construtibilidade, a incompatibilidade entre projetos. Deste modo, incompatibilidades identificadas durante a etapa de construção, podem requerer alterações de projeto, ocasionando paradas no processo de produção. É importante ressaltar que a falta de projeto executivo na obra é, dentre as causas do não cumprimento da programação, a menos freqüente. Uma das razões para essa pequena incidência está relacionada ao fato de que a grande maioria das incompatibilidades entre os projetos é resolvida até o início da construção propriamente dita, com a avaliação da casa modelo.

Quanto à causa condições adversas de tempo, uma possível razão identificada, relacionada à falta de construtibilidade, foi o fato de que havia atividades realizadas ao ar livre cuja qualidade seria comprometida pela ocorrência de condições climáticas adversas (principalmente chuva), como é o caso, por exemplo, dos serviços de revestimento externo. Entretanto, é importante ressaltar que este fator poderia ter um impacto muito maior sobre a construtibilidade, caso a empresa não tivesse optado pelo emprego de componentes pré-fabricados (vigas, lajes).

Para a causa “atraso na tarefa antecedente” foram identificadas três causas possíveis associadas à falta de construtibilidade: interdependência entre as atividades, incompatibilidade entre projetos e incompatibilidade entre projeto e tecnologia construtiva. Sendo que estas duas últimas também são causas possíveis da causa “falha de execução”. As causas relacionadas à “falha de execução”, que não tenham relação com a falta de construtibilidade, podem afetá-la como é discutido no item 4.2.8 (Relatórios de acompanhamento das obras).

Quanto à interdependência entre as atividades, observou-se, a partir da análise da inter-relação das atividades programadas para a execução de uma fase do empreendimento Vivendas, que esta não é uma causa preponderante na ocorrência de atrasos na tarefa antecedente.

Como pôde ser observado a partir do cronograma do empreendimento, há uma maior interdependência entre as atividades nas fases iniciais de construção das unidades residenciais. Isso se deve ao fato de que, nas atividades subseqüentes, parte do trabalho que seria realizado no canteiro é transferido para outros locais. Um exemplo é a pré-fabricação de elementos estruturais de concreto (lajes e vigas) que chegam no canteiro prontos para serem instalados em suas posições definitivas.

As incompatibilidades tanto entre os projetos, quanto entre esses e a tecnologia construtiva empregada, comumente resultam na necessidade de ajustes no canteiro, o que também pode gerar atrasos. O modo como esses dois tipos de incompatibilidade repercute na facilidade de construir, também é discutido no item 4.2.8 (Relatórios de acompanhamento das obras).

Na causa “atraso na entrega de material”, identificou-se uma causa possível associada à falta de construtibilidade: os produtos especificados não possuem configurações comuns. Neste caso, materiais com configurações incomuns dificultam o processo de compra, além requererem maior prazo de entrega.

Embora a causa “alteração na programação” não tenha causas raízes ligada à falta de construtibilidade, a ocorrência da mesma pode ter impacto na construtibilidade. Segundo os agentes de produção, as alterações na programação estão com frequência relacionadas a atrasos na liberação do financiamento para construção, que acontece por etapas. Deste modo, o ritmo de execução pode ser modificado (adiantado ou retardado) em função da disponibilidade ou não de recursos financeiros.

A figura 27 ilustra como a disponibilidade de recursos influencia o ritmo de execução. Considerando o mesmo período em que foram coletados os dados sobre as causas do não cumprimento da programação, coletou-se o número de fases do empreendimento programadas em cada reunião.

Assim, o trecho A identificado na figura 27 corresponde ao período onde o ritmo de execução se manteve normal, com duas fases do empreendimento programadas por reunião conforme informado pelo gerente de produção. Já os trechos B e C ilustram, respectivamente, períodos onde o ritmo de execução esteve retardado e acelerado. Os impactos das alterações do ritmo de execução na qualidade do produto final, bem como na construtibilidade, também são discutidos no item 4.2.8.

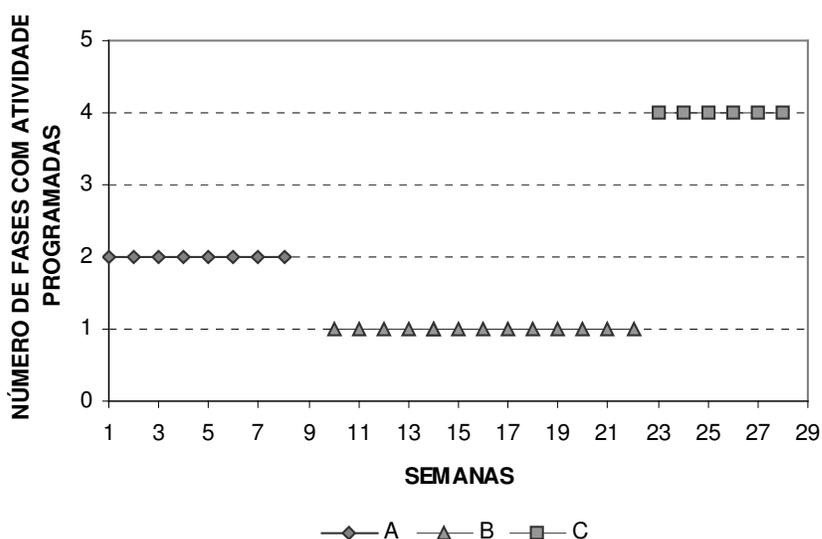


Figura 27: Número de fases com atividades programadas por semana

4.2.7 Seminários de produção

A figura 28 apresenta alguns exemplos de sugestões extraídas das atas dos seminários, agrupadas por assunto.

Para cada sugestão, como as ilustradas na figura 28, era definida uma ação, o(s) responsável(eis) pela implementação da ação e o prazo para implementação. Por exemplo, a sugestão de ajustar as dimensões das peças pré-fabricadas, teve como ação advertir os fornecedores e orientar o funcionário que recebe materiais a não aceitar peças fora de medida.

Os responsáveis pela implementação dessa ação foram o engenheiro de obra e o almoxarife com prazo imediato de implementação.

ASSUNTO	EXEMPLOS DE SUGESTÕES
Suprimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar dimensões das peças pré-moldadas; • Melhorar a qualidade das furações nas peças pré-moldadas; • Adoção de um estoque mínimo para insumos de alta rotatividade.
Otimização das técnicas construtivas	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de formas metálicas para <i>radier</i> e vigas de fundação; • Alteração do sistema de fixação de molduras das fachadas.
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> • Prever furações nos projetos de lajes e vigas pré-moldadas evitando necessidade de abertura de furos no local; • Compatibilizar altura da viga pré-moldada com altura da esquadria evitando necessidade de enchimento.

Figura 28: Exemplos de sugestões de ações preventivas e corretivas extraídas das atas dos seminários de produção

Analisando as sugestões apresentadas na figura 28, observa-se que boa parte se destina a resolver problemas específicos do empreendimento, enquanto há outras que podem ser aproveitadas para empreendimentos futuros, como é o caso da adoção de estoque mínimo para insumos de alta rotatividade.

Embora não tenha sido possível avaliar a eficácia das ações estabelecidas nos seminários, muitas das sugestões registradas nas atas diziam respeito a melhorias no projeto do produto e do processo de produção, que favoreciam os aspectos de construtibilidade. Além disso, o fato dessas sugestões, bem como as respectivas ações de implementação serem registradas, possibilitava a retroalimentação de novos processos, embora tal prática não tenha sido verificada.

Outro aspecto observado, diz respeito aos participantes dos seminários. Embora o projeto fosse um dos assuntos discutidos, não havia a participação de projetistas. Da mesma forma, os encarregados de produção terceirizados também não participavam dos seminários. As discussões dos seminários poderiam ter sido enriquecidas com a participação desses agentes, além de possibilitar uma troca de percepções acerca dos problemas relacionados ao processo produtivo.

4.2.8 Relatórios de acompanhamento das obras

Com base nos registros fotográficos dos relatórios, bem como nos comentários feitos pelo consultor relacionados a esses registros, foi feito um levantamento da incidência de não conformidades por tipo durante a etapa de construção (ver figura 29).

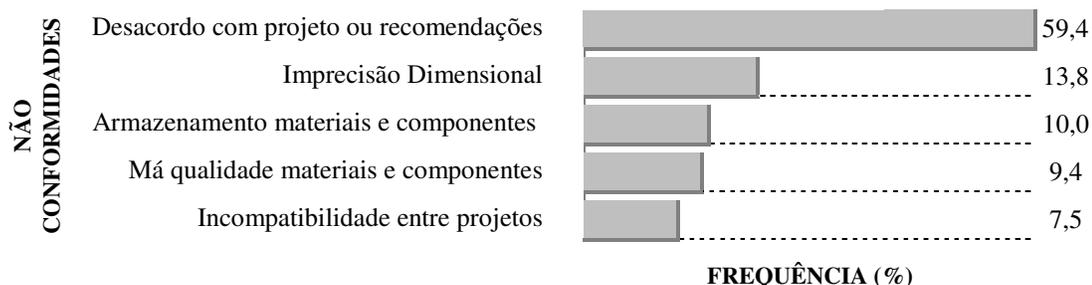


Figura 29: Incidência de não conformidades durante a etapa de construção por tipos

A figura 30 ilustra um exemplo de incompatibilidade entre projeto estrutural e hidráulico. Neste exemplo, a tubulação de esgoto, com 100mm de diâmetro, era maior que o furo dos blocos de concreto com 90mm de largura. Por isso, foi executado um rasgo na alvenaria para passagem da tubulação, que ficou engastada na alvenaria. Além dos ajustes necessários para a instalação da tubulação, os aspectos de manutenção também foram prejudicados neste caso, tendo vista a dificuldade de acesso e remoção da tubulação.

Já a figura 32 apresenta um exemplo de incompatibilidade entre projeto estrutural, hidráulico e elétrico. Neste caso, havia pontos hidráulicos e elétricos na contraverga da janela da área de serviço. Segundo o consultor, o ideal seria deslocar estes pontos pelo menos 20cm na horizontal, para que a contraverga fosse concretada sem interferir nas instalações.

As figuras 32 e 33 ilustram exemplos de imprecisão dimensional verificados nos relatórios. As causas possíveis são problemas com a qualidade dos insumos (por exemplo, desvios nas dimensões dos blocos de concreto), falta de controle dimensional durante a execução (por exemplo, não verificação do prumo) ou ainda, incompatibilidade entre a precisão requerida no projeto e a capacidade dos recursos produtivos disponíveis (ferramentas, máquina, equipamentos e habilidade da mão-de-obra), bem como do sistema construtivo adotado de proporcionar essa precisão. Isto significa que mesmo considerando que não há problemas com a qualidade dos insumos e que todas as medidas de controle dimensional são adotadas durante

a construção, pode não ser possível alcançar a precisão necessária para que os elementos subsequentes sejam instalados sem a necessidade de ajustes.



Figura 30: Blocos cortados para passagem da tubulação de esgoto na vertical.

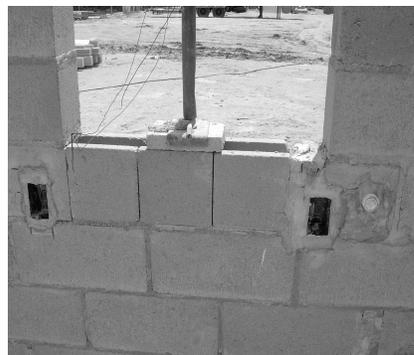


Figura 31: Interferência entre elementos estruturais, hidráulicos e elétricos

Neste último caso, a imprecisão dimensional configura-se em um problema de falta de construtibilidade, já que reflete uma falha do projeto do produto ou do processo em especificar os materiais, máquinas, equipamentos e ferramentas adequados às necessidades do projeto em termos de precisão dimensional.

Assim, o problema da imprecisão dimensional pode ou não ter como origem a falta de construtibilidade. No entanto, a ocorrência de problemas de imprecisão dimensional, independente da causa de origem, sempre resulta em prejuízos para a construtibilidade por gerar a necessidade de ajustes. No caso dos empreendimentos da construtora Alfa, não foi possível avaliar quais dentre as causas levantadas deram origem aos problemas de imprecisão dimensional verificados nos relatórios.



Figura 32: Local onde houve necessidade de enchimento para correção de medidas



Figura 33: Parede fora do prumo

Observou-se que os demais tipos de não conformidades identificadas (execução em desacordo com projeto ou recomendações técnicas, armazenamento inadequado de materiais e má qualidade dos materiais ou componentes), diminuem o nível de construtibilidade incorporado na etapa de elaboração do projeto do produto e do processo. As figuras 34, 35 e 36 ilustram exemplos relacionados a estes tipos de inconformidades.



Figura 34: Tubulação elétrica comprimida pela ferragem no interior da laje pré-fabricada



Figura 35: Blocos cortados utilizados no local de peças especiais



Figura 36: Armazenamento inadequado de paletes de blocos de concreto no canteiro

A figura 34 ilustra um exemplo de má qualidade de componentes. Neste exemplo, foi identificado na laje pré-fabricada que é fornecida pronta, um ponto onde o eletroduto foi estrangulado pela ferragem. Este fato dificultou a passagem da fiação elétrica e exigiu reparos na peça. Já a figura 35 apresenta um exemplo de execução em desacordo com projeto. Nesta figura observam-se blocos quebrados sendo assentados por falta de peças especiais. De acordo com o consultor, a improvisação na colocação dos blocos, compromete o trabalho de

compatibilização entre a alvenaria e instalações prediais realizado nas etapas anteriores do PDP. Este fato pode ocasionar necessidade de quebra para passagem de tubulação, que é uma situação indesejável no caso da alvenaria estrutural.

A figura 36 ilustra um exemplo de armazenamento inadequado de materiais no canteiro. Neste caso, há dois aspectos a serem observados. O primeiro diz respeito à desorganização no armazenamento de materiais gerando perdas e o segundo, diz respeito ao não atendimento à recomendação de manter os blocos sempre cobertos com lonas plásticas, como meio de prevenir que estes retenham umidade em excesso com a ocorrência de chuva. A não observância destes fatores pode afetar a facilidade de construir, pela dificuldade de remanejamento do material, tanto em função da desorganização dos mesmos, quanto pelo aumento de peso quando expostos à chuva.

Como pode ser observado nos exemplos apresentados anteriormente, as não conformidades identificadas a partir dos relatórios de acompanhamento das obras, em geral, repercutem em atividades desnecessárias como, por exemplo, ajustes, reparos ou reorganização de materiais no canteiro. Assim, pode-se dizer que, nestes casos, o princípio da simplificação é negligenciado.

A grande maioria (cerca de 60%) das não conformidades identificadas se relaciona à execução em desacordo com o projeto ou recomendações técnicas. Assim, foram levantadas algumas causas possíveis para ocorrência deste tipo de não conformidade com base nos dados levantados anteriormente. A primeira diz respeito ao aumento no ritmo de trabalho (ver figura 27), gerado em função da necessidade de compensações nos níveis de produtividade. A segunda, diz respeito à falta de materiais ou peças especiais no canteiro, causada pelo atraso na entrega de materiais que, por sua vez, foi identificada como uma das causas mais frequentes do não cumprimento da programação semanal. A terceira causa possível diz respeito à disponibilidade dos projetos em local de fácil acesso para os trabalhadores. Esta última também foi destacada como causa possível pelo consultor em seus relatos.

4.2.9 Visitas ao canteiro de obras

Embora os dados do EC1, em sua maioria, tenham sido coletados no escritório do canteiro, foram feitas algumas visitas ao canteiro de obras com o objetivo de avaliar as práticas associadas ao processo produtivo. A partir dessas visitas foi possível identificar boas práticas, bem como problemas associados à construtibilidade.

Dentre as boas práticas pode-se citar: (a) o emprego de containers para as instalações provisórias do canteiro (escritórios e vestiários); (b) construção do empreendimento em pequenos lotes de 10 unidades, minimizando as distâncias entre o ponto de utilização e os materiais, máquinas, equipamentos e ferramentas; (c) utilização do equipamento do fornecedor para realizar o transporte vertical de paletes de blocos de concreto até o segundo pavimento das unidades, evitando a necessidade de remanejamento do mesmo (ver figura 37)¹⁷; (d) desenvolvimento de peça metálica que substituiu o uso de tábuas de madeira como apoio para as vergas. Este apoio metálico, além de regulável tanto na altura quanto na largura, proporcionava uniformidade na sustentação da verga, evitando assim, a ocorrência de deformações durante o processo de cura do graute (ver figura 38).



Figura 37 - Transporte vertical de materiais utilizando equipamento do fornecedor (guincho auto-propulsor)



Figura 38 - Apoio metálico para verga

No entanto, conforme relatado anteriormente, os serviços de infra-estrutura do condomínio (redes de água e esgoto, drenagem, rede elétrica e pavimentação) eram realizados por etapas. Este fato, além de gerar interferências entre as frentes de trabalho, conforme verificado

¹⁷ As fotos utilizadas neste item foram retiradas dos relatórios de acompanhamento de obras.

durante as visitas e também a partir dos relatos dos encarregados, resultava em uma quantidade significativa de solo solto no canteiro. Como ilustra a figura 39, o solo solto dificultava as condições de circulação no canteiro, sobretudo em períodos de chuva com a formação de barro.



Figura 39: Presença de barro dificultando acessibilidade no canteiro do empreendimento Vivendas

Além desses aspectos, boa parte das não conformidades assinaladas nos relatórios de acompanhamento das obras foi verificada durante essas visitas. Dentre essas não conformidades, as encontradas mais freqüentemente foram: o armazenamento inadequado de materiais (blocos de concreto e blocos tipo holandês para pavimentação); a quebra excessiva dos blocos da alvenaria para realização das instalações hidráulicas e elétricas; falhas na execução de contra-vergas; peças pré-fabricadas com falhas de concretagem e paredes fora do prumo.

4.2.10 Indicador de Construtibilidade Proposto

A tabela 4 apresenta as respostas dos agentes de projeto e produção, bem como o cálculo dos índices de construtibilidade do projeto, da produção e global.

Analisando a tabela 4, observou-se que não houve uma convergência clara entre as respostas. Neste sentido, são destacadas três causas possíveis: a diferença de conhecimento sobre o empreendimento entre os respondentes; a falta de imparcialidade nas respostas conforme pode ser observado no IC de projeto (os projetistas se auto-avaliaram melhor que a avaliação dada pelos agentes de produção); e a subjetividade presente em cada item do *check-list*. Essa última

indica a necessidade de um aperfeiçoamento do *check-list* visando tornar a avaliação dos itens mais clara e objetiva.

Tabela 4: Cálculo dos Índices de Construtibilidade

Índice de Construtibilidade do Projeto (IC projeto)						
RESPONDENTE	TOTAL ITENS (1)	SIM (2)	PARCIALMENTE (3)	NÃO (4)	NÃO APLICA (5)	IC projeto = $\{[2 + (3 \times 0,5)] / (1-5)\} \times 100$
Projetista Arquitetura	24	18	4	1	1	87%
Projetista Estruturas	24	18	3	0	3	93%
Gerente Produção	24	15	7	1	1	80%
Inspetor Qualidade	24	15	3	1	3	79%
MÉDIA IC projeto						84%
Índice de Construtibilidade do Produção (IC produção)						
RESPONDENTE	TOTAL ITENS (1)	SIM (2)	PARCIALMENTE (3)	NÃO (4)	NÃO APLICA (5)	IC produção = $\{[2 + (3 \times 0,5)] / (1-5)\} \times 100$
Estagiário de Eng.	9	5	4	0	0	78%
Gerente de Produção	9	1	6	2	0	44%
Inspetor Qualidade	9	2	5	1	1	56%
MÉDIA IC produção						58%
Índice de Construtibilidade Global (IC global)						
RESPONDENTE	TOTAL ITENS (1)	SIM (2)	PARCIALMENTE (3)	NÃO (4)	NÃO APLICA (5)	IC produção = $\{[2 + (3 \times 0,5)] / (1-5)\} \times 100$
Gerente de Produção	33	16	13	3	1	70%
Inspetor Qualidade	33	17	8	2	4	72%
MÉDIA Ic global						71%

Quanto ao resultado obtido, observa-se que os índices de construtibilidade do projeto são maiores que os índices da produção. Embora o número de itens do *check-list* relacionados à produção seja menor que o número de itens relacionados ao projeto, o que pode aumentar a variabilidade das respostas, o resultado é coerente com os dados levantados anteriormente.

Isto é, verificou-se um maior empenho durante a elaboração do projeto do produto do que no projeto do processo, no que diz respeito ao atendimento dos aspectos de construtibilidade.

De acordo com os resultados do formulário de avaliação do *check-list* (ver anexo 02), 60% dos respondentes acreditam que os itens do *check-list* são fáceis de responder. Os demais atribuem a dificuldade em identificar a resposta mais adequada à presença de termos cujo significado não ficou claro. A grande maioria dos respondentes (80%), afirmou que a coluna “justificativa” auxiliou na compreensão do propósito dos itens questionados.

Os respondentes também foram questionados sobre quais os momentos mais adequados para aplicação do *check-list*. Nesta questão, a opinião dos respondentes foi bem dividida. Todos os itens listados como possíveis (concepção do empreendimento, estudo preliminar, anteprojeto, detalhamento do projeto, elaboração do *layout* do canteiro e elaboração do cronograma de obra) foram apontados no mínimo por um respondente e no máximo por dois respondentes.

Quanto à relevância do *check-list* na avaliação dos aspectos de construtibilidade, a maioria dos respondentes (80%) concordou que a ferramenta ajudaria na análise dos requisitos de produção durante o projeto do produto e do processo ou na reflexão sobre as soluções propostas para o empreendimento. Enquanto 40% dos respondentes acreditam que a adoção da ferramenta seria indiferente ao final das etapas de anteprojeto e projeto executivo (conforme sugerido nas instruções de preenchimento do *check-list*), já que não mudaria as soluções consideradas até então.

Deste modo, verificou-se que além de fornecer um indicador de construtibilidade, o *check-list* também poderia ser utilizado como dado de entrada do PDP, provendo informações sobre os requisitos de produção aos agentes de projeto, facilitando a consideração de práticas que promovem a construtibilidade ao longo do desenvolvimento do projeto do produto e do processo.

Os respondentes também indicaram os documentos que deveriam ser consultados para auxiliar no preenchimento do *check-list*. Assim, todos os documentos listados no formulário de avaliação (projeto executivo, memoriais descritivos, detalhamentos, *layout* do canteiro e o cronograma da obra) foram selecionados no mínimo por dois respondentes e no máximo por três respondentes. Embora houvesse no formulário a opção de sugerir outros documentos para consulta, nenhum, além daqueles listados, foi sugerido pelos respondentes.

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO EC1

A seguir, são feitas discussões sobre os dados coletados no EC1 com base nos critérios evidências apresentadas no item 3.3.2.3 (Discussão dos Resultados do EC1).

4.3.1 Influência da organização do PDP na construtibilidade

Pode-se dizer que a organização do PDP da construtora favoreceu a consideração dos aspectos de construtibilidade. Foram observadas algumas características que remetem às práticas da engenharia simultânea, como, por exemplo, o cedo envolvimento dos diferentes agentes de projeto no PDP e de pelo menos um agente de produção (o gerente de produção). Além disso, foram identificados indícios de que parte das atividades da etapa de anteprojeto eram conduzidas de forma simultânea, assim como parte das atividades da etapa de projeto executivo (ver figura 24). Este ambiente é favorável à construtibilidade, por proporcionar maior entrosamento entre os agentes de projeto. Assim, as interfaces entre as disciplinas de projeto podem ser melhor resolvidas.

Entretanto, é importante ressaltar que, embora o gerente de produção estivesse presente desde as etapas iniciais do PDP, não foram encontradas evidências de que a participação desse agente tenha contribuído na avaliação das soluções parciais dos projetos sob o ponto de vista da produção. A contribuição efetiva dos agentes de produção no PDP foi verificada apenas a partir da etapa de construção da casa modelo.

Sempre que necessário, os agentes de projeto eram convocados pela construtora para auxiliar na resolução de problemas surgidos durante a etapa de construção. Com a possibilidade de interagir com os agentes de produção, discutindo soluções para os problemas surgidos durante a obra, os projetistas tomam conhecimento das falhas de projeto e dos requisitos de produção, acumulando assim, experiência para melhorar continuamente os projetos dos empreendimentos da construtora. Além disso, também merece destaque o desenvolvimento de projetos para produção para a disciplina de estruturas.

No entanto, em relação às características do PDP favoráveis à promoção da construtibilidade destacadas no item 2.6.2 (Modelos do PDP na Construção de Edificações), dois itens não foram verificados no PDP da construtora Alfa: a existência de atividades de análise/avaliação

das soluções parciais de projeto (TZORTZOPOULOS, 1999; SILVA, 2003) e retroalimentação de novos processos a partir da análise de dados coletados durante a execução (TZORTZOPOULOS, 1999; SILVA, 2003).

Embora as diferentes versões dos projetos registrem as alterações ocorridas durante a etapa de construção em função de problemas identificados, a simples comparação entre versões nem sempre evidencia a causa da modificação. Também há outros problemas resolvidos dentro do canteiro, sem a participação dos agentes de projeto, que não são registrados. Além desses, ainda havia os relatórios de acompanhamento das obras, que serviam como importante fonte de informação sobre o desempenho do processo de produção, mas que, no entanto, não eram avaliados sistematicamente. Eram feitas apenas leituras individuais dos relatórios conforme relatado pelos agentes de produção

4.3.2 Extensão pela qual a construtibilidade é considerada no projeto do produto

O valor médio verificado para o índice de construtibilidade de projeto (84%) no empreendimento Vivendas reflete um bom resultado no que diz respeito à consideração dos aspectos de construtibilidade. A figura 40 resume as boas práticas aplicadas ao projeto do produto identificadas no EC1, relacionando-as com os princípios de construtibilidade apresentados no item 2.4 (Princípios de Construtibilidade).

Deste modo, verificou-se que boa parte das boas práticas identificadas estavam associadas aos princípios da simplificação e da padronização. Este resultado se deve, principalmente, à racionalização proporcionada com o emprego da alvenaria estrutural e de componentes pré-fabricados (lajes e vigas).

Outro aspecto importante a ser destacado em relação aos projetos, é o fato destes terem sido elaborados levando em consideração o sistema construtivo empregado pela empresa, a alvenaria estrutural. Conforme observado nos projetos do empreendimento Vivendas, o projeto de arquitetura, estrutura e de sistemas prediais são elaborados considerando as restrições do sistema. São exemplos: a) ajuste das dimensões do projeto de arquitetura para atender à modulação dos blocos da alvenaria para que não haja quebra nos blocos; e b)

elaboração dos projetos de sistemas prediais a partir da modulação da alvenaria, para que não haja necessidade de cortes no sentido horizontal da alvenaria.

BOAS PRÁTICAS EM CONSTRUTIBILIDADE		PRINCÍPIOS DE CONSTRUTIBILIDADE						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Incorporar vários componentes ou funções em um só elemento (O'CONNOR e TUCKER, 1986; OLIVEIRA, 1994) <ul style="list-style-type: none"> • Emprego de radier; • Emprego de alvenaria estrutural. 	X	X					
2	Reduzir o número de passos ou partes de um produto através de alterações no projeto ou uso de partes pré-fabricadas (KOSKELA, 1992) <ul style="list-style-type: none"> • Emprego de aço cortado e dobrado; • Lajes e vigas pré-fabricadas; • Emprego de textura acrílica na fachada; • Emprego de piso-box; • Blocos intertravados. 	X			X			
3	Minimizar o número de partes diferentes do produto (BOOTHROYD & DEWHURST, 1989) <ul style="list-style-type: none"> • Emprego de argamassa industrializada multiuso. 	X	X					
4	Coordenar materiais dimensionalmente (FOX et al., 2002; GRIFFITH, 1986 apud OLIVEIRA, 1994) <ul style="list-style-type: none"> • Paginação da alvenaria; • Paginação pisos cerâmicos. 	X	X					
5	Analisar a viabilidade de emprego dos principais métodos construtivos (pré-fabricação, pré-montagem e modularização) tão cedo quanto possível (NIMA et al. 2002) <ul style="list-style-type: none"> • Lajes e vigas pré-fabricadas. 	X		X				
6	Evitar recortes, ângulos, inclinações e superfícies curvas (SAFFARO et al., 2004)	X						
7	Minimização das modificações de projeto necessárias para oferecer variedade de <i>layout</i> interno	X	X					
8	Padronização e repetição de plantas ou de suas partes (OLIVEIRA, 1994) <ul style="list-style-type: none"> • Repetição dos modelos de plantas; • Repetição dos pavimentos dos modelos. 	X	X					
9	Padronização e repetição de componentes <ul style="list-style-type: none"> • Minimização e repetição dos tipos de escada. 	X	X					
10	Padronização de detalhes de elevação (OLIVEIRA, 1992) <ul style="list-style-type: none"> • Padronização da altura dos pavimentos, portas e janelas. 	X	X					
TOTAL		10	7	1	1	0	0	0

- 1 - Simplificar pela redução do número de partes e passos
- 2 - Padronizar elementos do projeto e processos construtivos
- 3 - Promover acessibilidade para pessoas, materiais e equipamentos
- 4 - Facilitar construção sob condições climáticas adversas
- 5 - Otimizar os processos de construção
- 6 - Promover a manutenibilidade
- 7 - Minimizar o tempo de percepção, decisão e manipulação nas operações de montagem

Figura 40: Boas práticas aplicáveis ao projeto do produto identificadas no EC1

Quanto às informações de projeto, verificou-se, a partir das entrevistas com agentes de produção, da análise dos projetos, detalhamentos e memoriais descritivos que, de modo geral, as informações eram claras, completas e com nível satisfatório de detalhamento. As informações de projeto, após a construção da casa modelo, eram capazes de subsidiar de forma satisfatória o processo de execução. Além disso, os projetos estavam devidamente identificados no escritório do canteiro, separados em pastas por disciplina, contendo planilhas discriminativas de prancha que relacionavam todos os projetos, com os respectivos códigos e datas da última versão.

Entretanto, verificou-se que em alguns momentos os projetos não estavam sendo seguidos pelos trabalhadores. Algumas causas possíveis para a ocorrência deste fato incluem: a) aumento no ritmo de produção; b) falta de materiais no canteiro; e c) projetos embora bem identificados no escritório do canteiro, não estarem acessíveis aos agentes de produção (por exemplo, no caso do escritório ficar parte do tempo fechado).

4.3.3 Influência do sistema construtivo empregado na construtibilidade

A consideração dos requisitos de construtibilidade no empreendimento Vivendas estava, em grande parte, relacionada ao sistema construtivo empregado pela empresa, sobretudo devido ao conceito de racionalização presente no sistema empregado (alvenaria estrutural armada associada a peças de concreto pré-fabricadas).

Embora não tenha sido possível quantificar os benefícios identificados, constatou-se que com o emprego da alvenaria estrutural, bem como de peças estruturais pré-fabricadas (lajes e vigas), foi possível reduzir o tempo de execução. Isso ocorreu devido aos seguintes fatores: (a) redução da interdependência entre as atividades, já que parte das mesmas era transferida

para outras instalações e poderia ser realizada simultaneamente às atividades no canteiro; (b) redução do número de atividades no canteiro, tanto pela simplificação de atividades com o emprego da alvenaria estrutural, quanto pela transferência de parte das atividades para outras instalações; e (c) redução da necessidade de cortes e ajustes no canteiro a partir da coordenação dimensional dos blocos da alvenaria.

4.3.4 Influência da organização do empreendimento na construtibilidade

Os recursos financeiros eram liberados por etapas pelas instituições financeiras e, algumas vezes, ocorriam atrasos na liberação desses recursos. Entretanto, as causas desses atrasos não foram investigadas. Conforme comentado no item 4.2.6 (Planilhas de programação semanal), esses atrasos na liberação das parcelas do financiamento, em um primeiro momento, faziam com que o ritmo de trabalho fosse reduzido e, em um segundo momento, acelerado com a liberação da parcela do financiamento visando assim, recuperar perdas de produtividade do período anterior.

Essas alterações no ritmo de trabalho, além de gerarem a necessidade de ajustes na programação do empreendimento, podiam influenciar a qualidade do produto final. Esta possibilidade foi levantada a partir da análise dos relatórios de acompanhamento das obras, nas quais foram identificadas inúmeras não conformidades que poderiam ter sido evitadas e que teriam, dentre as causas possíveis, o aumento no ritmo de produção. Como exemplo, pode-se citar o não preenchimento da cinta de amarração com graute.

Outro exemplo da influência do sistema de captação de recursos sobre a construtibilidade diz respeito à infra-estrutura pública do condomínio (rede de água, esgoto, drenagem e pavimentação). Conforme constatado em conversa com agentes de produção e a partir de visitas ao canteiro, o fato dos serviços de infra-estrutura do condomínio serem executados em paralelo com a construção das unidades, faz com que, em períodos de chuva, a condição de trânsito de pessoas, caminhões e equipamentos seja prejudicada devido a formação de barro no canteiro. Além disso, há maior interferência entre as diferentes frentes de trabalho. Entretanto, como o empreendimento é entregue por fases, assim como as parcelas dos financiamentos, o gerente de produção esclareceu que não seria viável economicamente fazer toda a infra-estrutura pública do condomínio, antes de iniciar a construção das unidades.

De acordo com Wong et al. (2004) a construtibilidade é sensível à abordagem de contratação empregada, tendo em vista que esta interfere no modo como as atividades do empreendimento são desenvolvidas e também no modo como os participantes do empreendimento interagem uns com os outros. Para Wong et al. (2004), a abordagem empregada pela construtora Alfa, projeto e construção (*design & build*), proporciona um ambiente favorável à promoção da construtibilidade, devido, entre outros, ao envolvimento do construtor desde as etapas iniciais do PDP e à melhoria da comunicação entre os agentes envolvidos no empreendimento.

O fato de a empresa contratar, na grande maioria dos casos, a mesma equipe de projetistas e empreiteiros, foi identificado como favorável à consideração dos aspectos de construtibilidade. Conforme observado nos relatos das entrevistas, a parceria estabelecida entre a empresa e estes agentes, favorece a implementação continuada de melhorias no produto da empresa, a partir da experiência adquirida pelos agentes com a construção dos condomínios horizontais.

4.3.5 Extensão pela qual a construtibilidade é considerada no projeto do processo

A consideração dos aspectos de construtibilidade no projeto da produção apresentou desempenho inferior àquele observado no projeto do produto (58%), conforme ilustram os cálculos do índice de construtibilidade apresentados no item 4.2.10 (Indicador de Construtibilidade Proposto). Além disso, foi identificado um número menor de boas práticas associadas ao projeto do processo (4), em comparação com o número de práticas associadas ao projeto do produto (10). A figura 41 apresenta um resumo das boas práticas aplicadas ao projeto do processo no EC1 relacionando-as com os princípios de construtibilidade apresentados no item 2.4 (Princípios de Construtibilidade).

Como pode ser visto na figura 41, os princípios contemplados nas boas práticas associadas ao projeto do processo foram o da simplificação, acessibilidade e otimização dos processos. Dentre as boas práticas identificadas, merece destaque o fato do empreendimento ser construído em pequenos lotes de 10 unidades. Para Koskela (1992) a produção em pequenos lotes de produção constitui em uma das estratégias para reduzir o tempo de ciclo. De fato, a produção em pequenos lotes de casas permite reduzir as distâncias percorridas por pessoas,

materiais, máquinas, ferramentas e equipamentos. Este fato é ainda mais relevante no caso de canteiros horizontais, já que tendem a ser bem maiores que os canteiros de obras verticais, impondo maiores desafios em relação ao trabalho de organização e coordenação do canteiro.

BOAS PRÁTICAS EM CONSTRUTIBILIDADE		PRINCÍPIOS DE CONSTRUTIBILIDADE						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Inovar nos materiais e sistemas para construções temporárias ou implementar formas inovadoras de usar materiais e sistemas para construção temporária (CII,1993 apud JERGEAS e VAN DER PUT, 2001; NIMA et al., 2002) <ul style="list-style-type: none"> Emprego de containeres para as instalações provisórias do canteiro (escritórios e vestiários) 					X		
2	Modificar as ferramentas existentes ou introduzir novas ferramentas manuais que reduzam a intensidade do trabalho ou aumentem a mobilidade, segurança ou acessibilidade (NIMA et al., 2002) <ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de apoio metálico para o processo de cura da verga 					X		
3	Checkar restrições em termos de transporte de peças/componentes pré-fabricados <ul style="list-style-type: none"> Ajuste nas dimensões de lajes pré-fabricadas visando reduzir problemas associados à transporte em via pública 			X				
4	Eliminar do processo de execução as atividades que não agregam valor KOSKELA (1992) <ul style="list-style-type: none"> Utilização do equipamento do próprio fornecedor para transporte vertical dos paletes de blocos de concreto até o ponto de aplicação. Construção do empreendimento em pequenos lotes de 10 unidades, minimizando as distâncias entre o ponto de utilização e os materiais, máquinas, equipamentos e ferramentas. 	X						
TOTAL		1	0	1	0	2	0	0

- 1 - Simplificar pela redução do número de partes e passos
 2 - Padronizar elementos do projeto e processos construtivos
 3 - Promover acessibilidade para pessoas, materiais e equipamentos
 4 - Facilitar construção sob condições climáticas adversas
 5 - Otimizar os processos de construção
 6 - Promover a manutenibilidade
 7 - Minimizar o tempo de percepção, decisão e manipulação nas operações de montagem

Figura 41: Boas práticas aplicáveis ao projeto do produto identificadas no EC1

No entanto, conforme apresentado no item 4.2.8 (Relatórios de acompanhamento das obras), vários exemplos onde falhas no projeto da produção deram origem a problemas de construtibilidade na etapa de construção conforme é discutido no item 4.3.6 a seguir.

4.3.6 Influência da ocorrência de não conformidades durante a execução no nível de construtibilidade incorporado no projeto do produto e do processo

Conforme observado nos exemplos apresentados no item 4.2.8, as não conformidades de execução reduziram o nível de construtibilidade incorporada no projeto do produto e do processo. A ocorrência de não conformidades durante a execução, em geral, repercute na necessidade de ajustes, reparos ou em retrabalhos, aumentando assim, a dificuldade de construir.

A perda de valor para o cliente interno do processo ocorre porque os benefícios previstos em projeto não são plenamente concretizados. Neste sentido, contribuíram as seguintes não conformidades: má qualidade dos materiais ou componentes, armazenamento inadequado de materiais no canteiro, imprecisão dimensional e execução em desacordo com projeto ou recomendações técnicas. A figura 42 ilustra a perda de valor agregado na etapa de projeto em função da ocorrência de não conformidades durante a etapa de construção.

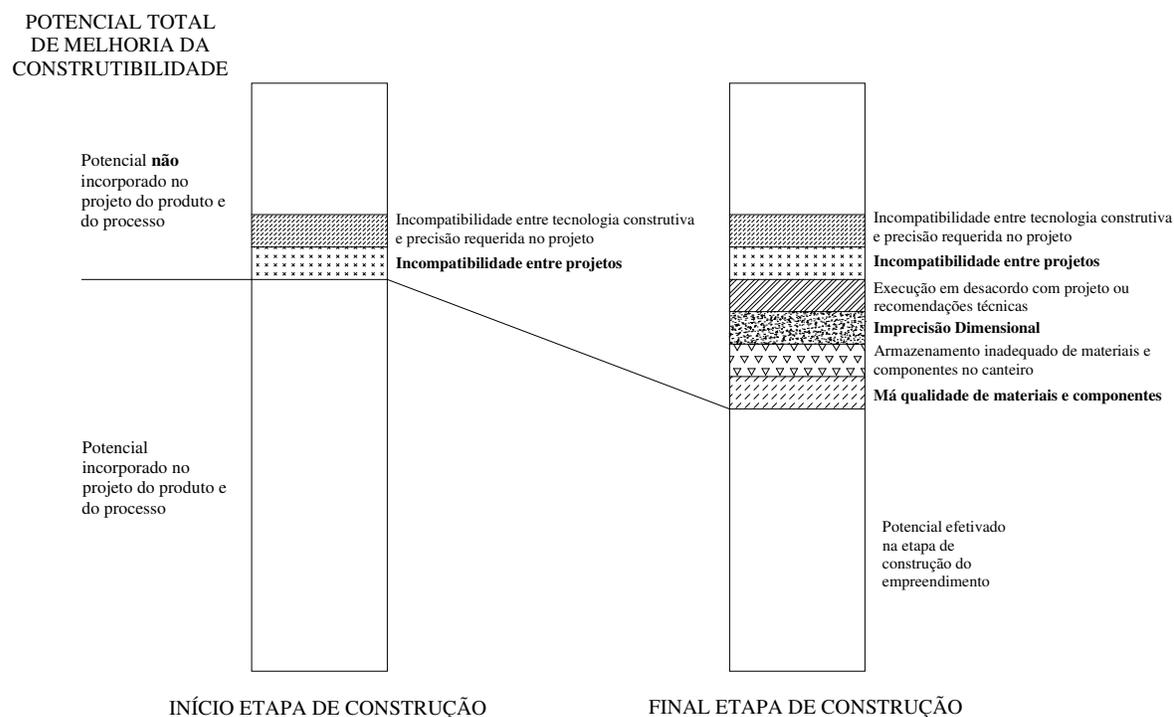


Figura 42: Fatores que acarretam perda da construtibilidade incorporada no projeto do produto e do processo durante a etapa de construção (Baseado em KOSKELA, 1992)

4.4 RESULTADOS DA FASE PREPARATÓRIA DO EC2

A construção da casa modelo do empreendimento Lunas foi iniciada em março de 2005 e concluída um mês após, quando também foi feito o lançamento oficial do empreendimento. Entretanto, a construção tinha início previsto apenas para o mês de agosto de 2005. O empreendimento Lunas foi planejado com um número menor de unidades comparado ao Vivendas (40 no total), com casas geminadas duas a duas.

Neste empreendimento, havia apenas um modelo de casa, o qual contava com três dormitórios, sendo um deles suíte, além de gabinete (sótão), *living*, cozinha, área de serviço, amplo pátio e duas vagas de garagem. Diferente do empreendimento Vivendas, no Lunas havia um conceito de lazer privativo, de modo que a infra-estrutura de lazer do condomínio contava apenas com um salão de festas. Quanto aos agentes de projeto e produção, foram mantidas as mesmas equipes que atuaram no empreendimento Vivendas.

4.5 RESULTADOS DA FASE DE DESENVOLVIMENTO DO EC2

4.5.1 Reuniões entre agentes de projeto e construtora durante etapas iniciais do PDP

De modo geral, verificou-se que as resoluções registradas nas atas das reuniões entre agentes de projeto e construtora abordavam os seguintes assuntos: a) implantação do empreendimento; b) programa das unidades residenciais (como por exemplo, definição do número de vagas e do número de banheiros); e c) requisitos a serem atendidos nos projetos de fundação, paisagismo e sistemas prediais. Embora as decisões associadas a estes assuntos pudessem impactar a facilidade de construir, não foi observada qualquer resolução que retratasse uma preocupação com atendimento aos requisitos de construtibilidade.

Observou-se que, em geral, a consideração dos aspectos de construtibilidade nas etapas iniciais do PDP se restringia à tecnologia construtiva empregada pela empresa e aos trabalhos de compatibilização, não havendo, contudo, um esforço voltado à análise das soluções de projeto sob o ponto de vista da construtibilidade neste período. Uma possível causa para a

ocorrência deste fato é que, em geral, os agentes de projeto nem sempre estão cientes sobre os requisitos de produção.

Assim, a idéia de melhorar a eficiência do processo produtivo ainda está muito vinculada à tecnologia construtiva. Embora esta tenha um importante papel na promoção da construtibilidade, existem outros aspectos que poderiam ser explorados nas etapas iniciais do PDP como, por exemplo, a promoção da acessibilidade e da construção sob condições climáticas adversas.

4.5.2 Reuniões entre agentes de projeto e produção após a conclusão da casa modelo

As reuniões entre os agentes de projeto e produção ocorreram logo após a conclusão da construção da casa modelo. As reuniões eram realizadas entre um grupo pequeno de participantes. Nas duas reuniões acompanhadas, estavam presentes o projetista de arquitetura (coordenador do projeto), o projetista de interiores, o gerente de obras, o mestre-de-obras e o estagiário de engenharia. Para as reuniões, o estagiário preparava uma lista de itens de projeto a serem discutidos em conjunto pela equipe. Esses itens haviam sido registrados durante a construção da casa modelo pelos agentes de produção. As reuniões eram realizadas dentro da própria casa modelo, o que permitia aos participantes uma melhor visualização dos itens que deveriam sofrer alterações.

As reuniões entre agentes de projeto e produção permitiram realizar várias otimizações no projeto do produto. Deste modo, foram identificadas modificações relacionadas aos aspectos funcionais, produtivos e de desempenho como ilustra a tabela 5.

Ajustes nas dimensões de peças pré-fabricadas constituíram exemplos de alterações que beneficiaram os aspectos produtivos nesta etapa. Em um dos casos, havia sido projetada uma viga única para as duas unidades geminadas que deveria ser apoiada no sentido transversal do living das unidades. Tendo em vista que esta solução exigiria colocação de um apoio, caso a outra unidade não estivesse com as paredes de apoio concluídas, decidiu-se por fabricar as vigas individualmente para cada unidade. Assim, a interdependência entre essas atividades foi eliminada.

Tabela 5: Aspectos contemplados nas modificações de projeto

ASPECTO	VALOR ABSOLUTO	PERCENTUAL (%)
DESEMPENHO	1	5
FUNCIONAL	12	63
PRODUTIVO	6	32
TOTAL	19	100

Outro exemplo semelhante diz respeito ao ajuste realizado na distribuição das lajes pré-fabricadas dos entrepisos do primeiro e do segundo pavimento. Este ajuste ocorreu, porque no projeto original, o comprimento da peça excedia o comprimento máximo (3,20m), permitido para transporte da peça em via pública sem a necessidade de escolta. Além dos custos para o transporte com escolta (pela empresa pública de transporte e circulação, EPTC), as peças teriam de ser transportadas em horários alternativos.

Além desses exemplos, os ajustes realizados nas cotas de pontos elétricos e hidráulicos, ilustram um exemplo de melhorias realizadas sob o aspecto funcional do produto, enquanto a especificação de um produto para isolamento térmica do forro do sótão ilustra um exemplo de melhoria sob o aspecto de desempenho do produto. A partir das reuniões também foi possível analisar as causas dessas modificações conforme ilustra a tabela 6.

Como pode ser observado a partir da tabela 6, a principal causa das modificações está associada a falhas ou incompatibilidades entre projetos, não identificadas em etapas anteriores do PDP. A execução da casa modelo também proporciona oportunidade de otimizar os aspectos funcionais do projeto, de modo que estas modificações sempre resultam em aumento de valor para o cliente final. Quando ocorrem erros de execução durante a construção da unidade modelo e esses não interferem no desempenho da mesma, tais como posicionamento de pontos hidráulicos e elétricos ou paginação de revestimentos, a empresa pode optar por refazer conforme projeto original ou alterar o projeto original para que demais unidades sejam idênticas à modelo. No empreendimento Lunas, uma das paredes do sótão foi executada em uma posição diferente daquela prevista no projeto. Neste caso a empresa optou por alterar o projeto para a execução das demais unidades, em vez de desmanchar aquela parede da unidade modelo.

Tabela 6: Causas das modificações de projeto após a construção da casa modelo

CAUSAS DAS MODIFICAÇÕES	VALOR ABSOLUTO	PERCENTUAL (%)
Erro de projeto	7	36,8
Agregar valor para o cliente final	5	26,2
Erro de Execução	2	10,6
Restrições quanto a acessibilidade	2	10,6
Dificuldade de executar	1	5,2
Outros	2	10,6
TOTAL	19	100

Embora as modificações associadas a erros de projeto, bem como aquelas associadas à acessibilidade tenham favorecido os aspectos produtivos, apenas uma das modificações contribuiu para aumentar a facilidade de construir.

4.5.3 Entrevista com agentes de produção

Os agentes de produção entrevistados (mestre-de-obras, encarregado de construção civil e elétrica) tomaram conhecimento sobre o empreendimento cerca de 30 dias antes do início da construção da casa modelo. Quanto ao primeiro contato com o projeto, cada entrevistado relatou uma experiência distinta. Enquanto o mestre-de-obras se reuniu com o engenheiro da obra e o gerente de atendimento ao cliente para analisar o projeto, previamente à construção da casa modelo, o encarregado de elétrica recebeu os projetos com uma semana de antecedência e o encarregado de construção civil teve o primeiro contato com o projeto no momento de iniciar a construção da casa modelo. Assim, nenhuma apresentação formal do projeto foi feita aos agentes de produção por parte dos agentes de projeto. O contato com os projetistas para troca de informações ocorreu posteriormente à construção da casa modelo por meio de reuniões entre esses agentes.

A construção da casa modelo foi iniciada sem que todos os detalhamentos estivessem concluídos. Além disso, os entrevistados relataram que alguns detalhamentos disponibilizados não apresentavam informações completas como, por exemplo, dimensões do box de um dos banheiros, cor e espessura do rejunte. Em um dos casos citados, a paginação atualizada do

azulejo do banheiro só chegou ao canteiro após a execução da paginação inicial. Problemas de incompatibilidades também foram relatados. Segundo o encarregado de construção civil, a paginação da alvenaria do sótão não era compatível com o projeto de telhado.

Embora os fatos relatados anteriormente tenham prejudicado o andamento das atividades durante a construção da casa modelo, os entrevistados entendem como normal a ocorrência destes fatos. Para eles, este é o momento onde o projeto deve sofrer os ajustes necessários de modo que suas interfaces estejam bem resolvidas para a construção das demais unidades. Todos os entrevistados avaliaram de forma positiva a construção da casa modelo.

4.5.4 Compatibilização de projetos após a construção da casa modelo

Foram verificadas, a partir dos e-mails encaminhados pelo coordenador do projeto aos projetistas de estruturas e sistemas prediais, um total de 46 solicitações de modificação de projeto, sendo que a grande maioria (total de 33 solicitações) foi encaminhada ao projetista de estruturas. Uma provável justificativa para o fato da maioria das solicitações ter sido direcionada ao projetista de estruturas está na forte inter-relação desta disciplina com as demais neste empreendimento.

As modificações solicitadas ao projetista de estruturas diziam respeito a ajustes nas dimensões de compartimentos, alturas de peitoris, dimensões de esquadrias, dimensões de peças pré-fabricadas (como lajes e vigas), previsão de furos em vigas pré-fabricadas e considerações referentes a modificações nos pontos hidráulicos e elétricos. Além dessas, também foram observadas solicitações de correções, inclusão ou esclarecimentos de informações de projeto (como por exemplo, incluir a seguinte observação na parede TR09: executar após instalação do *kit* churrasqueira e esclarecer detalhe 01 das lajes L202 e L203).

As modificações solicitadas ao projetista de sistemas prediais eram relacionadas ao aumento ou redução de pontos hidráulicos e elétricos, além de alterações nos posicionamentos de pontos ou tubulações (por exemplo, prever dois pontos no teto do sótão; trazer redes do pátio o mais próximo possível da casa, aumentando espaço disponível para instalação de piscinas).

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO EC2

A construção da casa modelo proporcionou a oportunidade de realizar diversas melhorias no projeto das unidades no que diz respeito aos aspectos funcionais, de desempenho e produtivos. Cerca de 32% (6) das melhorias de projeto identificadas estavam relacionadas aos aspectos produtivos, sendo que pelo menos a metade destas modificações estava relacionada a problemas de compatibilidade entre as disciplinas de projeto. Este fato revela que, mesmo havendo um trabalho de compatibilização de projetos nas etapas que precedem a construção da casa modelo, o método tradicional empregado, isto é, análise por comparação entre projeto a partir de cópias impressas, apresenta deficiências que são atenuadas pela possibilidade de executar a casa modelo.

Além das incompatibilidades solucionadas, foram identificadas outras melhorias que minimizaram a dificuldade de construir. Como exemplo, pode ser citado o caso onde se decidiu dividir ao meio uma viga que atendia, simultaneamente, duas unidades residenciais. Como os agentes de produção (exceto o gerente de produção), não foram envolvidos nas etapas do PDP que precederam a construção da casa modelo, não foi possível afirmar que a identificação dessas incompatibilidades foi possível apenas devido à construção do protótipo (casa modelo). No entanto, foi consenso geral entre os agentes de produção, que a experiência de executar a casa modelo proporciona uma visualização clara sobre as dificuldades associadas ao processo produtivo.

Embora as melhorias associadas ao processo produtivo não tenham sido numerosas (32% das melhorias), pode-se dizer que foram relevantes. Como exemplo, pode ser citado o caso das lajes que tiveram de ser redistribuídas para respeitar o comprimento máximo permitido para transporte das mesmas sem necessidade de escolta.

Conforme observado nas atas das reuniões entre projetistas e a construtora, antes da construção da casa modelo, não houve uma atenção adequada aos aspectos produtivos, já que não foram identificadas, nessas reuniões, resoluções que revelassem uma preocupação com a consideração dos aspectos produtivos. Deste modo, o envolvimento dos agentes de produção a partir da construção da casa modelo, foi fundamental para o refinamento das soluções de projeto sob o ponto de vista construtivo.

Entretanto, é importante ressaltar que, ao contrário do que é sugerido pelos estudos do CII (1986), da ASCE (1991) e Nima et al. (2002), entre outros, a participação dos agentes de produção, com o objetivo de analisar as soluções de projeto sob o ponto de vista da produção ocorreu nas etapas finais do PDP. Embora as melhorias incorporadas no projeto, a partir da construção da casa modelo tenha incrementado a construtibilidade, o fato de não ter havido um maior envolvimento desses agentes desde as fases iniciais do PDP pode ter repercutido em mau aproveitamento do potencial de melhoria da construtibilidade. Além disso, quanto mais adiante no PDP são feitas modificações no projeto, maior tende a ser o retrabalho para consideração dessas modificações.

5. CONCLUSÕES, DIRETRIZES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal a proposição de diretrizes para a consideração dos requisitos de construtibilidade integrados ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas. Além disso, o trabalho visou esclarecer a relação entre a construtibilidade e conceitos básicos de gestão da produção, bem como propor um indicador que permitisse a avaliação dos aspectos de construtibilidade no projeto do produto e do processo.

Neste item, são apresentadas as principais conclusões do trabalho, considerando as seguintes questões de pesquisa: *(a) Como considerar os aspectos de construtibilidade de forma integrada às atividades do PDP? (b) Como entender a construtibilidade a partir de conceitos básicos de gestão da produção; e (c) Como a construtibilidade do projeto do produto e do processo pode ser avaliada?*

A partir da revisão bibliográfica, foi possível estabelecer a relação entre o conceito de construtibilidade e outros conceitos de gestão da produção. Deste modo, verificou-se que a construtibilidade constitui parte do esforço da construção enxuta, em promover melhorias nas atividades de fluxo e conversão. Por outro lado, a construtibilidade também constitui parte do esforço da engenharia simultânea uma vez que contribui para incorporar desde a etapa conceitual do PDP, as necessidades das etapas subsequentes.

Com a realização de dois estudos de caso, observou-se que o fato de algumas variáveis dos empreendimentos se manterem inalteradas (o tipo de empreendimento incorporado, a equipe de projetistas, o sistema construtivo empregado e as equipes de empreiteiros) favorece o aperfeiçoamento dos produtos a partir da experiência adquirida, inclusive sob o aspecto produtivo.

A organização do PDP também pode facilitar os esforços pela melhoria da construtibilidade. Neste sentido foram identificadas algumas práticas que propiciam um ambiente favorável à consideração dos aspectos de construtibilidade: (a) envolvimento de todos os agentes de projeto desde as etapas iniciais do empreendimento, incluindo a participação de representantes dos agentes de produção; (b) definição da tecnologia construtiva a ser empregada previamente à elaboração do projeto; (c) condução simultânea das atividades das etapas de anteprojeto e detalhamento do projeto; (d) análise do projeto envolvendo os agentes de produção a partir da construção de uma unidade modelo; e (e) assistência dos agentes de projeto ao longo da etapa de construção.

Em particular, os estudos de caso indicaram que o sistema construtivo possui um importante papel na promoção da construtibilidade, influenciando tanto na facilidade de execução quanto no volume das atividades conduzidas no canteiro. Além disso, verificou-se que o sistema construtivo é um importante instrumento para viabilizar a implementação da coordenação dimensional, já que interfere no nível de precisão alcançado durante a etapa de construção.

Corroborando o estudo de Saffaro et al. (2004), embora a imprecisão decorrente do caráter artesanal das tarefas executadas no canteiro deva ser combatida, o não reconhecimento deste fator no ato de projetar resulta em projetos que exigem, na etapa de construção, um esforço para a garantia da precisão dimensional que comprometerá a facilidade de execução. Deste modo, é recomendável que a capacidade do sistema construtivo, bem como dos recursos produtivos (máquinas, equipamentos, ferramentas e habilidade da mão-de-obra), em atender às expectativas do projeto, em termos de precisão geométrica, seja avaliada previamente à iniciativa de incorporar medidas de racionalização construtiva no projeto.

A partir das não conformidades identificadas em componentes pré-fabricadas produzidas por empresas terceirizadas, observou-se que uma maior integração entre os elos da cadeia de suprimentos é fundamental para assegurar a qualidade dos insumos. Esta integração tende a evitar que problemas relacionados à má qualidade destes componentes afetem os resultados desejados, repercutindo em atividades desnecessárias como ajustes dimensionais, enchimentos, reparos no acabamento da superfície, entre outros.

Quanto às soluções de projeto, verificou-se que uma das alternativas para proporcionar variedade de *layout* interno para os usuários finais, sem afetar os aspectos de construtibilidade, consiste na identificação de ambientes reversíveis, isto é, ambientes que

possam assumir diferentes funções, requerendo apenas pequenas modificações construtivas, que não alterem a projeção original das paredes.

Esta pesquisa também indicou que falhas no cumprimento da programação do empreendimento podem ter origem em problemas de construtibilidade não solucionados durante a elaboração do projeto. Por exemplo, incompatibilidades entre projetos podem repercutir em atrasos na programação. Por outro lado, verificou-se que falhas no planejamento da produção também podem afetar a construtibilidade. Por exemplo, a falta dos materiais especificados em projeto, no momento da execução, pode induzir a improvisações a partir de materiais alternativos ou ajustes nos materiais disponíveis, afetando a produtividade e a qualidade do produto final.

No que diz respeito à compatibilização de projetos, o método de comparações entre projetos realizado manualmente se mostrou ineficaz na identificação de incompatibilidades, já que nas obras estudadas muitas das incompatibilidades existentes não foram identificadas a partir deste processo. Neste sentido, a possibilidade de analisar o projeto a partir da construção de um protótipo, prestou importante contribuição na identificação de incompatibilidades, sobretudo devido ao envolvimento dos agentes de produção neste processo. Além dessas iniciativas, os seminários de produção também merecem destaque, já que possibilitavam a implementação de pequenas melhorias em termos de construtibilidade, mesmo durante a etapa de construção.

Constatou-se, através deste estudo, que a ocorrência de determinadas não-conformidades durante a etapa de construção, reduz o valor agregado para o cliente interno (agentes de produção) durante a elaboração do projeto do produto e do processo. Assim, o nível de construtibilidade durante a etapa de construção foi inferior àquele previsto no projeto do produto e do processo, devido à ocorrência de determinadas não-conformidades. Deste modo, contribuiriam para a redução do nível de construtibilidade as seguintes não-conformidades: (a) imprecisão dimensional; (b) má qualidade de materiais ou componentes; (c) armazenamento inadequado de materiais no canteiro; e (d) execução em desacordo com o projeto ou recomendações técnicas. Assim, conclui-se que o esforço pela melhoria da construtibilidade só será eficaz se houver meios para assegurar que os benefícios previstos no projeto do produto e do processo, sejam efetivados na etapa de construção.

A má qualidade das informações de projeto também pode causar a redução no nível de construtibilidade durante a etapa de construção, já que dificuldades na interpretação das intenções de projeto, informações insuficientes ou imprecisas podem induzir a erros, bem como a improvisos no momento da execução.

Sob o ponto de vista da produção, os projetos devem fornecer mais do que informações referentes à caracterização física do produto, disponibilizando também, informações capazes de subsidiar o processo produtivo. Deste modo, a elaboração de projetos para a produção se destaca como importante instrumento de promoção da construtibilidade, não apenas por conter instruções sobre “como” executar, mas por antecipar, para a etapa de elaboração do projeto, uma série de decisões, comumente resolvidas no momento da execução.

Quanto à avaliação dos aspectos de construtibilidade, o *check-list* de boas práticas proposto, demonstrou contribuir tanto na avaliação do nível de construtibilidade inerente ao projeto do produto, quanto ao projeto do processo. No entanto, para que, além de proporcionar um indicador da construtibilidade, o *check-list* também ajudasse na consideração dos aspectos de construtibilidade, foi proposto que o mesmo fosse utilizado como dado de entrada no PDP, provendo informações sobre os requisitos de produção aos agentes de projeto.

5.2 DIRETRIZES PARA INTEGRAÇÃO DOS REQUISITOS DE CONSTRUTIBILIDADE AO PDP

Com base na realização dos dois estudos de caso, bem como a partir da pesquisa bibliográfica realizada, é proposto um conjunto de diretrizes para a consideração dos requisitos de construtibilidade de forma integrada ao PDP de obras repetitivas.

a) Adequação do projeto do produto às limitações impostas pela tecnologia construtiva disponível

Conforme comentado anteriormente, embora o caráter artesanal do processo produtivo no setor da construção civil deva ser combatido, o não reconhecimento das limitações impostas pela tecnologia construtiva disponível (sistema construtivo, máquinas, equipamentos,

ferramentas e habilidade da mão-de-obra), pode resultar em produtos que requeiram, na etapa de execução, um esforço para a garantia da precisão dimensional requerida no projeto, comprometendo a facilidade de construir. Neste sentido, esta diretriz propõe que essas limitações sejam devidamente identificadas e consideradas no projeto do produto. Para tanto, o envolvimento dos agentes de produção desde as etapas iniciais do PDP é fundamental para que tais limitações sejam identificadas e disseminadas para os agentes de projeto envolvidos.

De forma complementar, os esforços também podem ocorrer no sentido de minimizar o caráter artesanal das atividades no canteiro optando, na medida do possível, por outras opções de tecnologia construtiva que reduzam a variabilidade inerente a estas atividades.

b) Análise crítica do projeto com o apoio de indicadores

Essa diretriz refere-se à análise das versões parciais do projeto, o qual, entre outros requisitos, também deveria contemplar aqueles relacionados ao processo produtivo. Esta análise pode ser realizada com o apoio do *check-list* proposto, ao final das seguintes etapas do PDP: planejamento e concepção do empreendimento, estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo. Visando a garantir a imparcialidade nas respostas, propõe-se que esta análise seja coordenada por um representante dos agentes de produção com o apoio de outros agentes de produção. Além do *check-list*, poderão ser empregados outros indicadores de projeto que possam, entre outros aspectos, apoiar a análise daqueles relativos à consideração das necessidades do processo produtivo, tais como aqueles selecionados no item 2.7.1 (Indicadores de Desempenho na Avaliação da Construtibilidade).

Essa análise poderá resultar em sugestões de modificação de projeto que contemplem as necessidades do processo produtivo. As novas sugestões que surgirem deste processo deverão ser incluídas no *check-list*, tanto para que a consideração das mesmas possa ser avaliada em outras rodadas de análise crítica do projeto, quanto para que esta possa ser aproveitada na elaboração do projeto de novos empreendimentos.

Do mesmo modo, no projeto do processo, a análise dos aspectos relativos a construtibilidade também pode ocorrer com o apoio do *check-list* proposto. Assim, agentes de produção que não tenham sido envolvidos na elaboração do projeto do processo ficam responsáveis pelo preenchimento do *check-list*, que deverá ocorrer logo após a conclusão do projeto do

processo. As novas sugestões que surgirem a partir desta análise, também devem ser registradas no *check-list* para retroalimentar outros projetos no futuro.

c) Construção e avaliação de uma unidade modelo

A unidade de repetição do empreendimento, comumente construída para servir de modelo para clientes potenciais, constitui um meio eficaz para identificar problemas de projeto associados aos aspectos produtivos (como, por exemplo, incompatibilidades entre projetos, restrições quanto ao transporte e montagem de componentes pré-fabricados), assim como outros aspectos do produto, tais como: funcionalidade e desempenho. Assim, os problemas identificados, associados ao processo produtivo, devem ser registrados pelos agentes de produção para que, posteriormente, estes possam ser analisados e solucionados em conjunto com os agentes de projeto. Novamente, as sugestões de modificação de projeto relativas ao processo produtivo, devem ser registradas no *check-list* de boas práticas visando retroalimentar processos futuros.

d) Desenvolvimento de mecanismos de aprendizagem em relação à construtibilidade

Esta diretriz se refere ao monitoramento da etapa de construção e manutenção, visando gerar conhecimento sobre construtibilidade. Para tanto, poderão ser coletados, entre outros, os seguintes dados: (a) indicadores de desempenho da produção como aqueles selecionados no capítulo 2 (item 2.7.1); (b) registro de problemas ocorridos durante a execução; (c) causas das modificações de projeto; e (d) benefícios em termos de custo e prazo resultantes da implementação de ações de melhoria da construtibilidade. Deste modo, os vários agentes envolvidos (projeto e produção) poderão contribuir tanto na coleta de dados, quanto na avaliação dos mesmos. A análise desses dados deverá resultar em sugestões de melhorias a serem implementadas no projeto do produto e do processo. Estas sugestões também deverão ser incluídas no *check-list* de boas práticas de construtibilidade.

É importante destacar que há uma forte relação entre esta diretriz e as diretrizes (b) e (c) já que estas duas últimas também constituem em fontes de informação que podem ser utilizadas para gerar conhecimento e aprendizagem sobre construtibilidade.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São propostas as seguintes sugestões para estudos futuros:

- a) realização de uma pesquisa-ação visando validar e aperfeiçoar as diretrizes propostas no presente trabalho, o que poderia resultar em um método estruturado para integração dos aspectos de construtibilidade ao PDP de obras repetitivas;
- b) desenvolver bancos de dados de boas práticas de construtibilidade em meios de fácil disseminação (manuais ou softwares) para profissionais da área;
- c) desenvolver mecanismos para operacionalizar os princípios dos métodos DFM, DFA e DHA com foco na melhoria da construtibilidade.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **Constructability Review Best Practices Guide**. AASHTO Highway Subcommittee on Construction. 2000. Disponível em: <http://www.transportation.org>
Acesso em: 10 jul. 2004.

ANDERSON, Stuart D.; FISHER, D. J.; RAHMAN S.P. Integrating constructability into project development: a process approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, vol. 126, n. 2, p. 81-88, apr. 2000.

ANDRADE, V. A.; ARAÚJO, J. L. S.; HEINECK, L. F. M. **Aspectos geométricos e indicadores de qualidade para casas de classe média**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ABEPRO, 1996.

ANUMBA, C. J.; BALDWIN, A. N.; BOUHLAGHEM, D.; PRASAD, P.; CUTTING DECELLE, A. F., DUFAU, J.; MOMMESSIN, M. Integrating Concurrent Engineering Concepts in a Steelwork Construction Project. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, vol. 8, n. 3, p. 199-212, sept. 2000.

AQUINO, J. P. R., MELHADO S. B. **Perspectivas da Utilização Generalizada de Projetos para Produção na Construção de Edifícios**. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1., São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2001.

ARDITI, D.; ELHASSAN, A.; TOKLU, C. Constructability analysis in the design firms. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, vol. 128, n. 2, p. 117-126, apr. 2002.

ASCE CONSTRUCTION MANAGEMENT COMMITTEE. Constructability and constructability programs: white paper. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, vol. 117, n. 1, p. 67-89, mar. 1991.

BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 2003. **BT/PCC/172**.

BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. **Product Design for Assembly**. Wakefield: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1989.

BRANDÃO, D. Q.; HEINECK, L. F. M. **Variabilidade de Layouts x Construtibilidade: algumas soluções para promoção da versatilidade espacial em alguns apartamentos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

BRALLA, J. G. **Design for Manufacturability Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1998.

BRANSTETTER, M. C. O. **Avaliação pós-ocupação em condomínios horizontais: aspectos de escolha e satisfação da habitação**. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1., São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2001.

CASAROTTO FILHO, N.; FÁVERO, J. S.; CASTRO, J. E.E. **Gerência de Projetos/Engenharia Simultânea: Organização, Planejamento, Programação, Pert/CPM, Pert/Custos, Controle e Direção**. São Paulo: Atlas, 1999.

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o planejamento integrado dos processos de projeto e produção na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para a inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CODINHOTO, R., FERREIRA, R. C., EGÉA, A. M., **Projeto integrado para a produção de edifícios**. São Paulo, 2004. (Relatório Técnico Preliminar).

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability: a primer**. CII publication n. 3-1, 2. ed, The University of Texas at Austin, 1986.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Guidelines for implementing a constructability program**. CII publication n. 3-2, 2. ed, The University of Texas at Austin, 1987.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Prefabrication, Preassembly, Modularization, and Offsite Fabrication in Industrial Construction: A framework for decision-making program**, The University of Texas at Austin, jul. 2002. (Research Summary 171-2).

COSTA, D. B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas de construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para a inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CUNHA, G. **Desenvolvimento de Produto**. Porto Alegre: PPGE/EE/UFRGS, 2001. (Apostila de Aula).

DUNSTON, P. S.; WILLIAMSON, C. E. Incorporating Maintainability in Constructability Review Process. **Journal of Management in Engineering**. Vol. 15, n. 5, p. 56-60, sept/oct. 1999.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FABRÍCIO M. M., MELHADO S. B. **Projeto Simultâneo e a Qualidade na Construção de Edifícios.** In: NUTAU' 98, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1998.

FABRÍCIO M. M., MELHADO S. B. **Gestão Integrada do Desenvolvimento de produto na construção de edifícios.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.

FISHER, D. J.; ANDERSON, S. D.; RAHMAN, S. P. Integrating Constructability Tools into Constructability Review Process. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, vol. 126, n. 2, p. 89-96, mar/apr. 2000.

FOX, S., MARSH, L., COCKERHAM, G. Constructability rules: guidelines for successful application to bespoke buildings. **Construction Management and Economics**, vol 20, p. 689-696, jun. 2002.

FRENCH, S. S. **Providing Cost and Constructability Feedback to Designers.** In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2003.

GUGEL, J. G.; RUSSELL, J. S. Model for Constructability Approach Selection. **Journal of Construction Engineering and Management** . New York, vol. 120, n. 3, p. 509-521, sept.1994.

HALON, E. J., SANVIDO, V. E. Constructability Information Classification Scheme. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, vol. 121, n. 4, p. 337-345, dec.1995.

HEINECK, L. F. M.; PETRUCCI, H. C. **Influência do projeto arquitetônico na manutenção e durabilidade dos edifícios.** In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1989, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: [s,n], 1989.

HELANDER, M.; WILLEN, B. Design for human assembly. In: KARWOSWSKI, W.; MARRAS, W. (Eds.) **The occupational ergonomics handbook.** Boca Raton: CRC Press, p. 1631 – 1640, 1999.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T. **A Nova Filosofia de Produção e a Redução de Perdas na Construção Civil.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

JERGEAS, G.; VAN DER PUT, J. Benefits of Constructability on Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, vol. 127, n. 4, p. 281-290, jul/aug. 2001.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J. AND EVBUOMWAN, N. F. O. Developments in the Implementation of Concurrent Engineering in Construction. **International Journal of Computer Integrated Design and Construction**, SETO, London, UK, 2(1) p. 68-78. 2002.

KAMARA, J. M. **Enablers for Concurrent Engineering in Construction**. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002.

KAMEI C. G., FRANCO L. S. **Projeto para Produção – Uma discussão sobre os fluxos e processos de projeto**. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1., São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2001.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. Thesis (Doctor of Technology) – Technical Research Center of Finland, VTT Building Technology, Helsinki, 2000.

_____. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford, CA: Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 1992. (Technical Report, n. 72).

_____. **Lean Construction**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998.

KOSKELA, L.; HUOVILA, P. On Foundations of Concurrent Engineering. In: ANUMBA, C; EVBUOMWAN, N. (Ed.) **Concurrent Engineering in Construction CEC'97**. London, jul. 1997. The Institute of Structural Engineers, London, p. 22-32.

LANTELME, E.M.V. **Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

LANTELME, E.M.V.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C.T. **Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil**. Porto Alegre: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. (Relatório de Pesquisa).

MDIC, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva da Construção Civil: Produção e Comercialização de Unidades Habitacionais**. Vol. 01 Diagnóstico, 2002b; Disponível em: <http://prospectiva.pcc.usp.br/>. Acesso em: 08 de ago. 2005.

MDIC, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Fórum de Competitividade da Cadeia Produtiva da Construção Civil**, 2002a; Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/>. Acesso em: 10 de ago. 2005.

MEIER, J. R.; RUSSELL, J. S. Modelo Process for Implementing Maintainability. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, vol. 126, n. 6, p. 440-450, nov/dec. 2001.

MELHADO, S. B.; AGOPYAN, V. O conceito do projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle. São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1995. **BT/PCC/139**.

MELHADO, S. B. **Qualidade do 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, 1994.

NAKAMURA, J. A redescoberta da alvenaria estrutural. **Téchne**. São Paulo. PINI: junho 2003a, n. 75, p.38-43.

NAKAMURA, J. Banheiros prontos facilitam a obra. **Téchne**. São Paulo. PINI: junho 2003b, n. 80, p. 46-49.

NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F.; CASTRO, E. B. P.; MEDEIROS, L. M. S., BORGES, M. M.; SOUZA FILHO, R. S. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional**. Juiz de Fora: UFJF, 2001.

NIMA, Mekdam A.; ABDUL-KADIR, M.; JAAFAR, M.S. Constructability Concepts in West Port Highway in Malaysia. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, vol. 128, n. 4, p. 348-356, jul. 2002.

NOVAES, C. C. **Diretrizes para garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

_____. **Indicadores da qualidade do projeto do edifício sob a ótica da empresa incorporadora-construtora**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 2000.

_____. Um enfoque diferenciado para o projeto de edificações: projetos para produção. **Revista Produto & Produção**. Porto Alegre, vol. 2, n. 2, p. 104-111, jun. 1998.

O'CONNOR, J. T.; LARIMORE, M. A.; TUCKER, R. L. Collecting Constructability Improvement Ideas. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, vol. 112, n. 4, p. 463-474, dec.1986.

O'CONNOR, J. T.; RUSCH, S. E.; SCHULZ, M. J. Constructability concepts for engineering and procurement. **Journal of Construction Engineering and Management** . New York, vol. 113, n. 2, p. 235-48, jun. 1987.

O'CONNOR, J. T.; TUCKER, R. L. Industrial Project Constructability Improvement. **Journal of Construction Engineering and Management**. New York, vol. 112, n. 1, p. 69-81, mar.1986.

OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, R. R.; HAMERSKI, A. **Estudo de indicadores de qualidade em obras repetitivas.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONTRUÍDO, 7., 1998b, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1998b.

OLIVEIRA, R. R. **Sistematização e listagem de fatores que afetam a construtibilidade das alvenarias estruturais.** In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s,n], 1994.

OLIVEIRA, R. R.; DALL' OGLIO, S.; HAMERSKI, A.; MARTINI, C. E. **Estudo de fatores que afetam a produtividade em obras repetitivas.** In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS – SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1., 1998a, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1998a.

PARSEKIAN, G. A., FURLAN JUNIOR, S. **Compatibilização de Projetos de Alvenaria Estrutural.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.

PASQUIRE, C. L.; GIBB, A. G. F. **Considerations for Assessing the Benefits of Standardization and Pre-Assembly in Construction (The findings of a pilot Study):** Considerations for Assessing S&P Benefits, 2002.

RADTKE, M. W.; RUSSELL, J. S. Project-Level Model Process for Implementing Constructability. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, vol. 119, n. 4, p. 813-831, dec.1993.

RAUBER, F. C.; RIZZATTI, E.; CAVALHEIRO, O. P. **Construtibilidade e desempenho no projeto de alvenaria estrutural.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2005.

RIBEIRO, J. L. D., **FMEA e FTA no diagnóstico e melhoria de produtos e processos.** Porto Alegre: PPGE/EE/UFRGS, 1995. (Apostila de Aula).

RODRÍGUEZ, M. A.; HEINECK, L. F. M. **A construtibilidade no processo de projeto de edificações.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.

ROESCH, S. M. A, **Projetos de Estágio e de pesquisa em administração:** guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso. São Paulo: Atlas, 1999.

RUSSELL, J. S.; GUGEL, J. G.; RADTKE, M. W. **Benefits and Costs of Constructability:** Four Case Studies. University of Wisconsin-Madson: 1992. (A Report to the Construction Industry Institute).

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos:** formulação e aplicação de uma metodologia. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SAFFARO, F. A, HEINECK, L. F. M., SANTOS, D. G. **Uma Proposta para a classificação de decisões voltadas a melhoria da construtibilidade.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 10., **Anais...** Florianópolis: ABEPRO, 2004.

SANTOS, D. G. **Análise Construtiva dos tipos de lajes utilizadas nos sistemas estruturais das edificações de Florianópolis.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

SAURIN, T. A. Segurança no Trabalho e Desenvolvimento de Produto: Diretrizes para Integração na Construção Civil. **Revista Produção.** Porto Alegre, vol. 15, n. 1, p. 127-141, 2005.

SILVA, M. A. C. **Gestão do Processo de Projeto de Edificações.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

STEHN, L., BJÖRNFOT, A. **Industrialization of construction – a lean modular approach.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore. **Proceedings...** Elsinore: IGLC, 2004.

TATIKONDA, M. V. Design for Assembly: A Critical Methodology for Product Reengineering and New Product Deployment. **Production and Inventory Management Journal.** n. 35, p. 31-38, 1st quarter, 1994.

TATUM, C. B. Improving constructability during conceptual planning. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, vol. 113, n. 2, p. 191-207, jun.1987.

TATUM, C. B., FISCHER, M. Characteristics of Design-Relevant constructability knowledge. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, vol. 123, n. 3, p. 253-260, sept.1997.

THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, G. Learning Curve Models of Construction Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management.** New York, vol. 112, n. 2, p. 245-259, jun. 1986.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do Processo de Projeto de Edificações em Empresas Construtoras Incorporadoras de Pequeno Porte.** 1999. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

WONG, F.W. H., LAM, P. T. I., CHAN, A.P.C. **Procurement approach to achieve better constructability.** In: INTERNATIONAL CONSTRUCTION RESEARCH CONFERENCE OF THE ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS. **Proceedings...** COBRA, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de Caso Planejamento e Métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2001

APÊNDICE A – *CHECK-LIST* DE CONSTRUTIBILIDADE

PARTE 1: AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE DO PROJETO DO PRODUTO (A ser preenchido pelos Agentes de Projeto)

Nome: _____ Função: _____ Data: ____ / ____ / ____

A	MEDIDAS PARA SIMPLIFICAR O PROJETO DO PRODUTO	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
A.1	Minimizar o número de peças por meio de alterações no projeto ou emprego de elementos pré-fabricados.	Reduzir número de operações de montagem, bem como a variabilidade devido à redução das interfaces entre componentes, elementos ou peças.				
A.2	Eliminar características ou funções do produto que não agregam valor para o cliente.	Reduzir o número de operações construtivas.				
A.3	Projetar ou especificar elementos que incorporam várias peças ou funções.	Reduzir o número de operações construtivas.				
A.4	Evitados recortes, ângulos, inclinações ou superfícies curvas nas projeções dos planos.	Facilitar as operações de montagem.				
A.5	Coordenar materiais dimensionalmente.	Reduzir a necessidade de ajustes no canteiro.				
A.6	Prever uso de métodos construtivos como: pré-montagem e modularização.	Reduzir o número de operações construtivas.				
A.7	Especificar materiais e componentes fáceis de conectar. Por exemplo, optando por ligações aparafusadas em vez de soldadas.	Facilitar montagem de componentes.				
A.8	Dar preferência a materiais facilmente disponíveis no mercado.	Evitar problemas com atrasos no fornecimento de materiais e facilitar substituições em ações de manutenção.				
A.9	Dar preferência a materiais com dimensões comerciais.	Evitar custos adicionais pela aquisição de materiais com dimensões fora de padrão, bem como atraso no fornecimento do mesmo.				
A.10	Projetar peças pré-fabricadas de um único tamanho ou forma, ou que sejam de tamanho de tamanhos de fácil diferenciação.	Reduzir a probabilidade de confusão na escolha das peças.				

B	MEDIDAS PARA PROMOVER ACESSIBILIDADE NO CANTEIRO	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
B.1	Disponibilizar aos projetistas e planejadores da obra informações sobre quais equipamentos de transporte e de execução dos serviços a serem utilizados, suas dimensões e espaços necessários para seu uso.	Considerar as restrições impostas pelo uso de equipamentos.				
B.2	Projetar elementos estruturais que possam ser pré-montados a nível do solo.	Minimizar o trabalho em altura, bem como necessidade de andaimes.				

C	MEDIDAS PARA PROMOVER A PADRONIZAÇÃO	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
C.1	Promover repetição de plantas inteiras ou de suas partes. Por exemplo, repetição de pavimentos, tamanhos de cômodos, simetria da planta baixa.	Promover a repetitividade, melhorando a produtividade pela ocorrência do efeito aprendido.				
C.2	Realizar o mínimo de alterações de projeto possíveis para proporcionar variedade de <i>layout</i> interno. Por exemplo, empregando ambientes multiuso.					
C.3	Minimizar a variedade de dimensões de portas e janelas.					
C.4	Minimizar a variedade de dimensões nas peças estruturais (vigas, pilares e lajes, vergas e contravergas) moldadas <i>in loco</i> ou pré-fabricadas.					
C.5	Padronização as alturas dos elementos inseridos nos planos verticais como: portas, janelas e bancadas.					
C.6	Padronizar detalhes de execução. Por exemplo, no caso das esquadrias: padronizar o posicionamento de caixilhos, vidros, etc.					
C.7	Reduzir a variedade de materiais especificados. Por exemplo, empregando argamassa multiuso.					

D	MEDIDAS PARA COMBATER OS EFEITOS DAS CONDIÇÕES ADVERSAS	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
D.1	Maximizar o volume de trabalho conduzido fora do canteiro. (por exemplo, projetando componentes pré-fabricandos).	Permitir a continuidade dos serviços mesmo quando as condições climáticas são desfavoráveis.				

E	MEDIDAS PARA PROMOVER MANUTENIBILIDADE	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
E.1	Prever caminhos de acesso aos elementos considerando o transporte e remoção dos mesmos, bem como uso de equipamentos e ferramentas auxiliares.	Facilitar o acesso ao elemento a ser substituído.				
E.2	Coordenar dimensionalmente elementos passíveis de substituição.	Facilitar a substituição de elementos.				
E.3	Criar tolerâncias entre os elementos.	Facilitar a substituição de elementos.				
E.4	Utilização de tubulações externas à parede, instalações elétricas aparentes e de forros falsos em banheiros, com a instalação do andar superior aparente.	Evitar necessidade de quebras em paredes ou lajes para substituição de tubulações ou elementos das instalações elétricas.				
E.5	Projetar ganchos na laje de cobertura para a fixação das vigas de sustentação de andaimes fachadeiros ou cintos de segurança.	Facilitar instalação de equipamentos para realização de atividades de renovação (reformas).				
E.6	Prever ganchos nas vigas de periferia, em edificações com cinco ou mais pavimentos visando facilitar a instalação de plataformas de proteção.	Facilitar instalação de equipamentos para realização de atividades de renovação (reformas).				

F	MEDIDAS PARA MINIMIZAR OS TEMPOS DE PERCEPÇÃO, DECISÃO E MANIPULAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE MONTAGEM	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
F.1	Assegurar nas soluções de projeto, visibilidade completa das partes e ferramentas.	Minimizar o tempo de percepção e decisão, facilitando a formação de um modelo mental da tarefa de montagem.				
F.2	Proporcionar discriminação visual e tátil utilizando diferentes formas, tamanhos, cores e texturas.	Minimizar o tempo de percepção.				
F.3	Minimizar o número de componentes e partes, empregar partes simétricas e integrar ou combinar partes sempre que possível.	Reduzir o tempo de reação de escolha.				
F.4	Proporcionar resposta visual, auditiva e tátil que indiquem a conclusão da tarefa de montagem.	Minimizar o tempo de decisão.				
F.5	Utilizar partes que sejam fáceis de pegar e que não se entrelacem, dando preferência para peças com terminações fechadas.	Minimizar o tempo de manipulação.				
F.6	Projetar novos produtos com pequenas modificações em relação a produtos anteriores.	Promover transferência de treinamento, de modo que o trabalhador possa aplicar a habilidade adquirida anteriormente na montagem de novos produtos.				

PARTE 2: AVALIAÇÃO DA CONSTRUTIBILIDADE A PARTIR DO PROJETO DO PROCESSO (A ser preenchido pelos Agentes de Produção)

Nome: _____ Função: _____ Data: ____ / ____ / ____

G	MEDIDAS PARA SIMPLIFICAR O PROJETO DO PROCESSO	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
G.1	Adotar soluções de projeto que permitam realizar atividades em paralelo durante a execução. Por exemplo, utilizando elementos pré-fabricados.	Reduzir a interdependência entre as atividades.				
G.2	Disponibilizar os materiais diretamente no local de aplicação sempre que possível.	Reduzir necessidade de duplo manuseio do material.				
G.3	Minimizar a interferência entre as fretes de trabalho e nas vias de circulação do canteiro quando do planejamento da seqüência executiva.	Evitar congestionamentos no canteiro.				
G.4	Reduzir a necessidade de mão-de-obra especializada para desempenhar as atividades no canteiro.	Permitir que o trabalho seja desempenhado pela mão de obra disponível evitando novas contratações.				
G.5	Construir em pequenos lotes.	Minimizar distâncias percorridas no canteiro.				

H	MEDIDAS PARA PROMOVER ACESSIBILIDADE NO CANTEIRO	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
H.1	Definir no <i>layout</i> do canteiro caminhos de acesso para veículos e pessoas.	Minimizar a interferência entre os fluxos de pessoas e veículos no canteiro bem como promover segurança.				
H.2	Demarcar no <i>layout</i> do canteiro, os espaços para equipamentos e estoque de materiais próximos aos locais de aplicação.	Reduzir as distâncias percorridas no canteiro.				
H.3	Prever espaço de trabalho adequado em torno do edifício e dos elementos construtivos para instalação de andaimes, circulação de equipamentos, materiais e ferramentas.	Proporcionar espaço adequado para desenvolvimento das atividades em torno da unidade, minimizando interferência entre fluxos de materiais, equipamentos e pessoas.				
H.4	Prever a construção de acessos definitivos o mais cedo possível.	Reduzindo a necessidade de andaimes e acessos temporários.				
H.5	Prever a realizados dos serviços de pavimentação do térreo o mais cedo possível.	Minimizar problemas com alagamentos e melhorando a circulação e o uso de equipamentos				
H.6	Verificar restrições de transporte de componentes pré-fabricados tanto dentro quanto fora do canteiro.	Evitar transtornos no transporte de peças dentro do canteiro e em vias públicas.				

I	MEDIDAS PARA COMBATER EFEITOS DAS CONDIÇÕES ADVERSAS	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
I.1	Adotar medidas que minimizem os efeitos da chuva sobre o canteiro de obras. (por exemplo: realizando, tão cedo quanto possível os serviços de pavimentação, bem como instalações de drenagem provisórias no canteiro).	Permitir a continuidade dos serviços mesmo quando as condições climáticas são desfavoráveis.				
I.2	Reduzir o volume de atividades conduzidas ao ar livre cuja qualidade ou continuidade possa ser afetada pelas condições climáticas (por exemplo: executando tão cedo quanto possível os serviços de cobertura).					

J	MEDIDAS PARA OTIMIZAR OS PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
J.1	Inovar nos materiais ou sistemas para instalações temporárias ou implementar forma inovadora de usar materiais ou sistemas para construções temporárias no canteiro. Por exemplo, uso de containeres ou trailers como escritório no canteiro.	Facilitar as atividades de mobilização e desmobilização do canteiro.				
J.2	Modificar as ferramentas existentes ou introduzir novas ferramentas manuais que reduzam a intensidade do trabalho ou aumentem a mobilidade, segurança ou acessibilidade.	Facilitar as operações de montagem.				
J.3	Inovar no uso dos equipamentos disponíveis ou modificar os equipamentos disponíveis.	Aumentar a produtividade dos equipamentos				

K	MEDIDAS PARA MINIMIZAR OS TEMPOS DE PERCEPÇÃO, DECISÃO E MANIPULAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE MONTAGEM	JUSTIFICATIVA	SIM	PARC	NÃO	N. A.
K.1	Projetar o processo para facilitar a pega das partes a serem montadas.	Minimizar o tempo de manipulação das operações de montagem.				

APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DO *CHECK-LIST*

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DO CHECK-LIST DE CONSTRUTIBILIDADE

Assinale com “X” as respostas que se aplicam.

1. De modo geral as perguntas são:

- Fáceis de responder. Consigo identificar claramente a opção apropriada.
- Razoavelmente fáceis de responder. Requerem um pouco de reflexão para que a opção mais adequada seja identificada.
- Difíceis de responder. As perguntas são muito subjetivas e não consigo identificar com clareza a opção mais adequada.
- Outros. Justificar.

2. Caso tenha identificado perguntas cujo conteúdo não tenha ficado claro, identifique **uma ou mais** razões dentre as opções abaixo:

- foram utilizados **termos** cujo significado não ficou claro. Cite exemplos.
- poderiam ter sido apresentados mais **exemplos** para melhorar a compreensão.
- Outros. Justificar.

3. A coluna “**Justificativa**” das tabelas auxiliou na compreensão das questões?

- Sim. Ficou mais fácil entender o propósito da questão a partir da justificativa.
- Indiferente. Nem esclareceu nem atrapalhou.
- Não. A justificativa atrapalhou me deixou confuso(a) em relação ao propósito da questão.
- Outros. Justificar.

4. Sobre o **emprego do check-list**, assinale quantas opções forem necessárias.

- Ajudaria na análise sobre a consideração dos requisitos de produção durante a fase de elaboração do projeto e planejamento da produção.
- Ajuda a refletir sobre as soluções propostas para o empreendimento durante a fase de elaboração do projeto e planejamento da produção.
- A adoção desta ferramenta durante a fase de projeto e planejamento seria indiferente pois não mudaria as soluções consideradas até então.
- O indicador é muito superficial e não traria resultados significativos.

5. Com relação ao **tempo necessário para preenchimento** do *check-list*:

- Foi necessário muito tempo para preencher o *check-list*. Existem muitos itens para analisar.
- Não foi necessário muito tempo para preencher, no entanto poderia ser mais objetivo.
- Pouco tempo foi necessário para preenchimento do *check-list*.

6. Relate, aproximadamente o **tempo gasto** para preenchimento do *check-list*: ____ minutos.

7. Na sua opinião, em **que momento** ou quais momentos do Processo de Elaboração do Projeto e ou do Planejamento da Produção a aplicação do *check-list* seria útil? Assinale com “X” quantas opções forem necessárias.

- Concepção do Empreendimento
- Estudo Preliminar
- Anteprojeto
- Detalhamento do Projeto
- Elaboração do Layout do canteiro
- Elaboração do Cronograma da Obra
- Outros. Citar:

8. Quais documentos poderiam ser consultados para auxiliar o preenchimento do *check-list*?

- Projetos Executivos
- Memoriais Descritivos
- Detalhamentos
- Layout* do canteiro
- Cronograma de obra
- Outros documentos. Citar:

Comentários e Sugestões:

**APÊNDICE C – ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM OS AGENTES
DE PROJETO NO EC1**

ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM OS AGENTES DE PROJETO NO EC1

- 1) Há quanto tempo vem prestado serviços para a construtora?
- 2) Quando e como ocorre sua primeira participação no PDP?
- 3) Neste primeiro momento, há participação do pessoal ligado a construção?
- 4) Quais as informações utilizadas para elaborar o projeto de sua área técnica? Quais as informações oferecidas pela construtora? Existe uma definição clara sobre quais são as informações de entrada ou requisitos a serem atendidos?
- 5) De que forma a experiência adquirida no projeto e construção dos empreendimentos da construtora é aproveitada no desenvolvimento de novos empreendimentos? Existe algum tipo de registro de boas práticas disponível para consulta?
- 6) Há padrões específicos da construtora a serem considerados na elaboração do projeto de sua área técnica? Quais são?
- 7) De que forma o sistema construtivo adotado pela construtora interfere na elaboração do projeto de sua área técnica?
- 8) Como se dá a troca de informações com os projetistas das demais áreas técnicas? Em que momentos do PDP a troca de informações ocorre com maior intensidade?
- 9) São realizadas atividades de compatibilizações dos projetos? Como e quando essas atividades são realizadas?
- 10) Em algum momento o pessoal de construção (gerente de produção, engenheiros, mestres ou encarregados) interfere nas soluções do projeto de sua área técnicas, analisando tecnicamente quanto ao atendimento dos requisitos de produção?
- 11) O projeto de sua área técnica é apresentado para a construtora e/ou agentes de produção? Quando e de que modo o projeto é apresentado?
- 12) Qual a extensão de sua participação no PDP? A construtora o consulta ou solicita apoio na resolução de problemas ocorridos na etapa de construção? A causa destes problemas são investigadas e/ou registradas para retroalimentação?

**APÊNDICE D – ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM
ENCARREGADOS DE PRODUÇÃO E MESTRE-DE-OBRAS NO EC1**

ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM OS ENCARREGADOS DE PRODUÇÃO E MESTRE-DE -OBRAS NO EC1

- 1) Os projetos são formalmente apresentados a sua equipe ? Quem os apresenta (membros da construtora, projetistas)?
- 2) Há em algum momento oportunidade para opinar quanto as soluções dos projetos? Quando e como?
- 3) Cite exemplos de modificações realizadas nos projetos a partir de sugestões oferecidas por agentes de produção.
- 4) Quais os projetos utilizados por você e sua equipe?
- 5) Os projetos de modo geral, dispõem de informações suficientes e bem detalhadas? Há necessidade de tomar decisões durante a execução? Neste caso, os projetistas são consultados?
- 6) Há projetos que descrevem como os serviços devem ser executados? Quais são esses projetos? O modo como essas informações são apresentadas nesses projeto contribuem de fato para a execução dos serviços?
- 7) Quais são as causas mais comuns de paralisação das atividades no canteiro?
- 8) As obras de infra-estrutura dos empreendimentos são, normalmente, realizadas por etapas e de forma simultânea a construção das unidades. A movimentação de máquinas e da equipe responsável pela infra-estrutura interfere na execução das unidades?
- 9) Quais as dificuldade encontradas para alcançar durante a execução, a precisão requerida pelo projeto?

**APÊNDICE E – CAUSAS MAIS FREQUENTES DE ALTERAÇÕES DE
PROJETOS**

Nome Projetista: _____ Disciplina de Projeto: _____

1. Identifique pelo menos 5 (cinco) causas que dão origem à modificações de projeto nos empreendimentos da construtora e incorporadora **ALFA** (em sua disciplina de projeto) a partir da construção da casa modelo até as fases finais da obra. Liste as causas em ordem decrecente de frequência, ou seja, a causa n.º 1 deverá ser a causa mais frequente de modificação dos projetos (exemplos de causas: incompatibilidade com o projeto de estruturas, solicitação de alteração pelo pessoal de produção).

1	
2	
3	
4	
5	

2. Descreva respectivamente para cada uma das causas de modificação listada anteriormente, **como é identificada a necessidade de modificação** (exemplo: se a causa = solicitação do pessoal de produção, escrever como o pessoal de produção solicita esta modificação – por meio de reuniões com projetistas ou em conversa com projetistas durante visita destes no canteiro, etc.).

1	
2	
3	
4	
5	

3. Identifique em que **período ou quais períodos** (a partir da construção da casa modelo até as fases finais de execução do empreendimento) **as modificações de projeto são mais frequentes**. Marque “X” nas questões que se aplicam.

- () durante a construção da casa modelo.
- () nas primeiras fases de execução do empreendimento.
- () intensidade é a mesma durante todas as fases da execução.
- () Outros. Citar

**APÊNDICE F – ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM
ENCARREGADOS DE PRODUÇÃO E MESTRE-DE-OBRAS NO EC2**

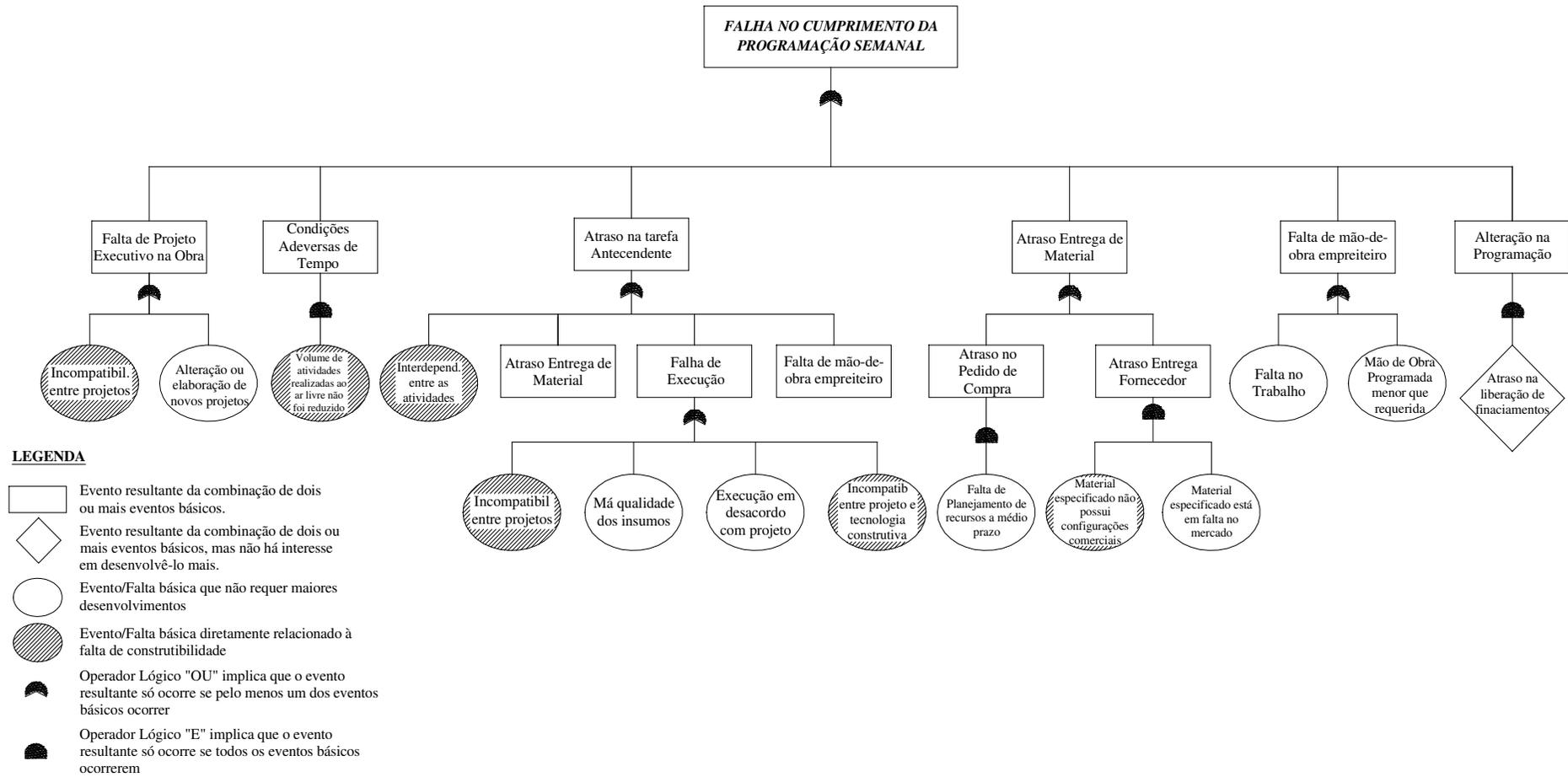
ROTEIRO PARA ENTREVISTA COM ENCARREGADOS DE PRODUÇÃO E MESTRE-DE-OBRAS NO EC2

- 1) Quando você e sua equipe foram informados sobre este novo empreendimento?
- 2) Como e com quando tempo de antecedência tiveram o primeiro contato com projeto do empreendimento?
- 3) Houve dificuldades na interpretação dos projetos? Alguém os ajudou a analisar os projetos? Quem?
- 4) No primeiro momento, todos os projetos e detalhamentos necessários para a construção da casa modelo foram disponibilizados? Faltaram informações necessárias para a realização dos trabalhos? Quais?
- 5) Foram identificadas incompatibilidades entre os projetos durante a execução? Quais?
- 6) Que modificações foram ou estão sendo feitas a partir da execução da casa modelo?
- 7) Na sua opinião como a construção da casa modelo contribui na construção do empreendimento?
- 8) Depois da construção da casa modelo, fica mais fácil o trabalho de construção do resto do empreendimento? Por quê?

APÊNDICE G – DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

ITEM	DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO
FUNDAÇÕES	<i>Radier</i> de concreto armado <i>in loco</i> , sendo o aço para a montagem da armadura, adquirido previamente cortado e dobrado. Antes do assentamento da alvenaria, o <i>radier</i> recebe três camadas de hidroasfalto abaixo da posição da alvenaria para isolamento de possível umidade. O também <i>radier</i> funciona como contra-piso de concreto do pavimento térreo.
ESTRUTURA	Alvenaria estrutural armada composta de blocos de concreto. A fixação da estrutura no <i>radier</i> é feita por meio de pontos de grauteamento previamente definidos pelo projetista de estrutura. Os ferros são chumbados no <i>radier</i> por meio de cola a base de epóxi. A última fiada é constituída de bloco tipo calha que recebe armadura de aço e graute auto-adensável em todo seu perímetro, funcionando como uma cinta de amarração e verga das aberturas de portas e janelas. As contra-vergas são pré-moldadas <i>in loco</i> ou são utilizados os blocos tipo calha para execução das mesmas. Neste último, os blocos tipo calha recebem duas barras de 10mm, além de graute auto-adensável. A laje do primeiro e segundo piso é pré-moldada e já chega no canteiro com as devidas furações e com eletrodutos posicionados. Uma vez colocada, a laje pré-moldada está pronta para receber o acabamento final.
COBERTURA	São utilizadas tesouras de madeira tratada e emendadas com conectores metálicos galvanizados. O telhamento é feito com telhas de barro colocadas sobre ripamento.
INSTALAÇÕES	Os eletrodutos e tubulações são embutidos no interior da alvenaria sem haver necessidade de rasgos como no sistema convencional. Apenas as saídas das instalações requerem recortes na alvenaria que é feito por meio de talhadeiras ou serra tipo copo. Além disso, são empregados kits de instalações hidráulicas e elétricas que já vêm prontos para montar.
REVESTIMENTOS	Os revestimentos argamassados das paredes constituem-se em chapisco de areia e cimento e reboco de argamassa industrializada executados tanto interna quanto externamente. Internamente é aplicado sobre o reboco uma demão de selador (massa acrílica para regularização) e duas demãos de tinta PVA. Externamente, aplica-se sobre o reboco uma demão de selador para textura acrílica e em seguida aplica-se o revestimento texturizado. O acabamento final é dado pela pintura acrílica em cores diferenciadas formando desenhos na fachada. Revestimentos cerâmicos também são assentes com argamassa industrializada. No box do banheiro é utilizado o piso box que já vem pronto com sua base fabricada em poliéster e reforçado com fibra de vidro. Dormitórios, gabinetes e sala de estar e jantar são entregues com piso de concreto regulado e desempenado.
ESQUADRIAS	As janelas são em esquadria de alumínio sendo que as janelas dos dormitórios têm venezianas. As portas internas são de madeira semi-oca enquanto a porta de entrada é de madeira maciça. Todas as esquadrias possuem dimensões padrão, portanto, não há medições no local para execução das mesmas sob medida.
ÁREA EXTERNA DAS UNIDADES	Pátio dos fundos tem acabamento em brita; calçada é pavimentada com bloco tipo holandês; entrada do carro recebe basalto e brita.
INFRA-ESTRUTURA DO CONDOMÍNIO	<p>Ruas Internas: pavimentadas com blocos de concreto de 6cm assentados sobre uma camada de areia de 10cm.</p> <p>Divisas do condomínio: executadas em muro de alvenaria estrutural.</p> <p>Calçadas: pavimentadas com bloco tipo holandês.</p> <p>Canteiros: áreas de lazer e trechos do calçamento externo recebem plantio de gramas e vegetação decorativa.</p>

**APÊNDICE H – ÁRVORE DE FALHAS NA PROGRAMAÇÃO
SEMANAL**



ANEXO A – MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS

Construtora e Incorporadora ALFA	INSTRUÇÕES TÉCNICAS	elaborado em:		N.º
		elaborado por:		
		alterado em:		REVISÃO N.º
		alterado por:		

SERVIÇO:

PRÉ-REQUISITOS:

SERVIÇOS EXECUTADOS	PROJETOS
MATERIAIS	EQUIPAMENTOS
	FERRAMENTAS
EQUIPAMENTO MÍNIMO DE SEGURANÇA	
CONTRATAÇÃO DE FORNECEDOR DE SERVIÇO E MATERIAL	

EXECUÇÃO:

ACEITAÇÃO:

O QUE CONTROLAR	PARÂMETROS DE CONTROLE / TOLERÂNCIA

ARQUIVO	EMISSÃO	APROV.	PÁG.

ANEXO B – PLANILHA DE PROGRAMAÇÃO SEMANAL

Construtora e Incorporadora ALFA	PROGRAMAÇÃO SEMANAL	elaborado em:	/ /	N.º
		elaborado por:		
		alterado em:		REVISÃO N.º
		alterado por:		

FASE:

FITA:

DATA:

ATIVIDADE	OBJETIVO	STATUS	MÃO DE OBRA	REALIZADO	CAUSA DA FALHA

RELAÇÃO CAUSAS FALHAS NA PROGRAMAÇÃO

- 1 Falta de mão-de-obra empreitada;
- 2 Produção da mão-de-obra superestimada (prevista);
- 3 Falta de material empreiteiro;
- 4 Falta material da **Alfa**
- 4A Atraso na definição de fornecedor;
- 4B Atraso na entrega de material;
- 4C Quantidade de material insuficiente;
- 4D Atraso na solicitação de material;
- 5 Faltou equipamento (faltou previsão)
- 6 Faltou projeto executivo na obra;
- 7 Condições adversas de tempo;
- 8 Alteração na programação;
- 9 Atraso de tarefa antecedente;
- 10 Outros (citar).

RUBRICA DOS FORNECEDORES DE SERVIÇOS:

arquivo:	Emissão:	Aprovação:	Página:
----------	----------	------------	---------

**ANEXO C – FORMULÁRIO PARA AÇÕES CORRETIVAS E
PREVENTIVAS**

Construtora ALFA	SUGESTÃO PARA AÇÃO CORRETIVA E PREVENTIVA	N.º
Departamento	Data	
Nome	Assinatura	

**ANEXO D – FORMULÁRIO DAS ATAS DE REUNIÃO ENTRE
AGENTES DE PROJETO E CONSTRUTORA**

