

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL**

**César Winter de Mello**

Porto Alegre  
agosto de 2004

**CÉSAR WINTER DE MELLO**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na  
modalidade Acadêmico

Porto Alegre  
agosto de 2004

M527a Mello, César Winter de

Avaliação de sistemas construtivos para habitações de interesse social / César Winter de Mello. – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004.

171 f.

Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Mestre em Engenharia Civil. Orientador: Ronaldo Bastos Duarte.

1. Avaliação de sistemas construtivos. 2. Habitação de interesse Social. 3. Industrialização na construção. 4. Gestão dos processos de produção. I. Duarte, Ronaldo Bastos. II. Título.

CDU 69.057

**CÉSAR WINTER DE MELLO**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Porto Alegre, 24 de agosto de 2004**

Prof. Ronaldo Bastos Duarte  
Universidade de Edinburgh, U.K.  
Orientador

Prof. Américo Campos Filho  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Mario dos Santos Ferreira (PUC-RS)**  
Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina

**Prof. Hélio Adão Greven (ULBRA)**  
Doutor Ing. pela Universidade de Hannover, Alemanha

**Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**  
Doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Ao meu pai, minha mãe e meus irmãos, por saberem administrar  
a saudade da minha ausência.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir a evolução do meu conhecimento.

Ao meu pai Jorge Alves de Mello, à minha mãe Dulcina Winter de Mello, aos meus irmãos Fernando e Rodrigo, ao meu sobrinho Leonardo e sua mãe Elizabete, além de minha cunhada Vanessa, que apesar de estarem longe, souberam administrar a saudade, assim como eu consegui da mesma forma, além do incentivo recebido desde a decisão de fazer o curso de Mestrado.

Aos primos Jorge Luis Fernandes, Eliane e a pequena Sofia, onde buscava renovar energias para finalizar esta pesquisa.

Ao Prof. Ronaldo Bastos Duarte, pela atenção, dedicação e paciência como amigo e orientador.

Às empresas que abriram suas portas permitindo a realização dessa pesquisa.

Aos grandes amigos: Aline Barroso, Alessandro Morello, Cristiane Pauletti, Daniel Pagnussat, Fábio Shramm, Fabrício Cambraia, Gustavo de Oliveira, José Manuel Barreras, Natália Posser, Tiago Marder e Vladimir Stello, integrantes de uma turma excepcional e insubstituível, além das longas discussões na tentativa de resolver os problemas do mundo nos bares da Lima e Silva.

Aos amigos Adriana dos Santos, Leandro Bordin, Henrique Coelho, Ricardo Codinhoto, Dayana Costa, Geilma Vieira, Hilton Fagundes, Cristóvão Cordeiro, Renato das Neves, Luciana Miron, Elvira Lantelme, Alexandre Vargas, Sandro Mendes, Denise Pitthan, Marcelo Azambuja, Mara Diogenes, e aos demais norianos, pela amizade e momentos de descontração no Norie.

Ao “*Núcleo Mal da Novela*”, formado pelos amigos Cristóvão, Daniel e Tiago, pelas discussões com altos níveis de abstração sobre qualquer assunto e em qualquer lugar de Porto Alegre.

Ao Norie Esporte Clube, responsável pela *super* quarta-feira esportiva.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de realizar este curso de Mestrado.

À CAPES, pela bolsa de estudos nos 6 meses iniciais do curso, e, posteriormente, ao CNPq, pelo tempo restante, os quais possibilitaram a total dedicação aos meus estudos.

Aos professores Ruy Alberto Cremonini, Luiz Carlos Bonin e Carin Maria Schmitt, pelas sugestões no decorrer do trabalho.

Aos amigos de longa data: Gian Regis Frick, Rafael Zancan Frantz, e Paulo D. Nicoletti (e a tia do 306), responsáveis pelas horas de descontração e divertimento, além da grande amizade que se iniciou na época de 2º Grau em Ijuí.

Aos professores e amigos Ricardo Ruivo e Letícia Lanius, responsáveis pelo meu preparo na língua inglesa durante um bom tempo.

MUITO OBRIGADO!

Viver sem filosofar é o que se chama ter os olhos fechados sem  
nunca os haver tentado abrir.

*René Descartes*

## RESUMO

MELLO, C. W. Avaliação de sistemas construtivos para habitações de interesse social. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O déficit habitacional no Brasil é um problema enfrentado a décadas, agravado pelo êxodo rural e do acelerado crescimento demográfico das grandes metrópoles brasileiras. No Estado do Rio Grande do Sul a situação não é diferente, pois cerca de um terço do déficit habitacional no Estado corresponde a necessidade de novas moradias na região metropolitana de Porto Alegre. A partir da aceitação de sistemas construtivos não-convencionais pela Caixa Econômica Federal, através da homologação do desempenho técnico, com o objetivo de oferecer alternativas tecnológicas para financiamento, vê-se o retorno da confiança desta instituição financeira em liberar recursos para a produção de habitações com tais tecnologias. Dessa forma, a presente pesquisa propõe-se avaliar o desempenho desses sistemas construtivos com o foco voltado à produção de habitações unifamiliares, de interesse social, sob o ponto de vista da industrialização na construção e da gestão dos processos de produção.

A pesquisa foi dividida em três fases, sendo elas: pesquisa de levantamento; escolha dos métodos de avaliação com auxílio da revisão da literatura e estudo de caso múltiplo; e, aplicação dos métodos em sete sistemas construtivos da Caixa Econômica Federal e um oitavo sistema, com possibilidades de recursos para os materiais, bem como de uma análise dos resultados da avaliação.

Através da descrição detalhada de cada tecnologia, foi possível concluir que as mesmas possuem plenas condições de produzir habitações de interesse social com eficiência diante dos requisitos de desempenho definidos em cada método de avaliação no que se refere ao processo de produção dos elementos em fábrica e na construção e/ou montagem em canteiro de obras.

Palavras-chave: Avaliação de sistemas construtivos não-convencionais; habitação de interesse social; industrialização na construção; gestão dos processos de produção

## ABSTRACT

MELLO, C. W. Avaliação de sistemas construtivos para habitações de interesse social. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

In Brazil, houses shortage is a great problem that has been faced for a few decades aggravated by rural exodus and demographic growth in the Brazilian metropolis. The third part of houses shortage of Rio Grande do Sul State is situated in the metropolitan region of Porto Alegre. The acceptance of non conventional building systems by Caixa Econômica Federal through technical performance approval in order to offer technological alternatives to get financial resources has become a practice once again. We notice the return from this financial institution demonstrating confidence to release resources for construction. Thus, the proposal of this research is to evaluate the performance of these building systems focused on unifamiliar houses production, for low income people, taking into consideration the construction industrialization and production processes management.

This research is divided in three phases: first of all, a survey research; after that, the findings of the evaluating methods with bibliographic research and multiple study cases; finally, the method application in seven building systems of Caixa Econômica Federal and an eighth, a possibility of getting resources for materials and analyses of evaluating results.

Through the building systems description it is possible to conclude that the building systems investigated had good conditions to build houses with efficiency for low income people in relation to the performance requirements determined by each evaluating method in relationship with production processes components in manufacturing, building or assembling in site.

Key words: Non conventional system buildings evaluation; low income houses; construction industrialization; production process management

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E TEMA DA PESQUISA .....	16
1.2 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	19
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	21
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	21
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	22
<b>2 A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO E A GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO</b> .....	23
2.1 DEFINIÇÕES .....	23
2.1.1 Conceito de habitação de interesse social .....	23
2.1.2 Conceitos relacionados com o sistema construtivo .....	24
2.1.3 Conceitos relacionados com a racionalização .....	25
2.1.4 Conceitos de industrialização na construção de habitações .....	26
2.1.5 Conceitos relacionados com a gestão dos processos .....	28
2.1.6 Conceitos relacionados com medição de desempenho .....	29
2.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES .....	30
2.2.1 Um panorama da industrialização na construção de habitações .....	30
2.2.2 Vantagens e desvantagens da industrialização na construção de habitações .....	36
2.3 PRINCÍPIOS DA GESTÃO DE PROCESSOS .....	39
2.3.1 A produção enxuta na gestão dos processos .....	41
2.4 FATORES CONDICIONANTES PARA A SELEÇÃO TECNOLÓGICA .....	44
2.5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS .....	46
<b>3 OS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE EDIFICAÇÕES PARA HABITAÇÕES</b> .....	47
3.1 ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO POR SISTEMAS .....	47
3.1.1 A tecnologia do sistema tradicional .....	47
3.1.2 A evolução nos sistemas construtivos .....	49
3.1.3 Avaliação da tecnologia pelo processo de fabricação .....	52
3.1.4 Avaliação da tecnologia pela sistematização do produto .....	54
3.2 AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE EDIFICAÇÃO SOB O PONTO DE VISTA DA GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO .....	56

3.2.1 As necessidades de desempenho de tecnologias de edificação para habitação de baixo custo .....	56
3.2.2 Os requisitos de desempenho .....	57
3.2.3 O diagrama adaptado de precedências .....	58
3.2.4 Os indicadores de desempenho .....	61
3.2.5 Roteiro para aplicação do método .....	70
3.2.6 A interpretação dos resultados dos indicadores .....	72
<b>4 MÉTODO E FASES DA PESQUISA</b> .....	<b>73</b>
4.1 AS FASES DA PESQUISA .....	73
4.1.1 Fase I – a pesquisa de levantamento .....	74
4.1.2 Fase II – o estudo de caso múltiplo .....	75
4.1.3 Fase III - a avaliação dos sistemas construtivos .....	78
<b>5 A DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS</b> .....	<b>80</b>
5.1 SISTEMA CONSTRUTIVO MOA .....	80
5.2 SISTEMA CONSTRUTIVO CE .....	84
5.3 SISTEMA CONSTRUTIVO BP .....	88
5.4 SISTEMA CONSTRUTIVO GFH .....	91
5.5 SISTEMA CONSTRUTIVO QH .....	94
5.6 SISTEMA CONSTRUTIVO CF .....	98
5.7 SISTEMA CONSTRUTIVO RB .....	103
5.8 SISTEMA CONSTRUTIVO ST .....	106
<b>6 A AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS INVESTIGADOS</b> .....	<b>110</b>
6.1 ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES .....	110
6.1.1 Avaliação das tecnologias pelo processo de fabricação .....	111
6.1.2 Avaliação das tecnologias pela sistematização do produto .....	117
6.1.3 Classificação das tecnologias relacionando o processo de fabricação com a sistematização do produto .....	121
6.2 AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOB O PONTO DE VISTA DA GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO .....	125
6.2.1 Resultados dos indicadores aplicados .....	126
6.2.2 Considerações finais da avaliação .....	140
6.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO .....	141

<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	145
7.1 DISCUSSÃO DAS QUESTÕES E OBJETIVOS DA PESQUISA .....	145
7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	147
7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	148
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	149
<b>APÊNDICES</b> .....	153
<b>APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO DIRECIONADO ÀS EMPRESAS</b> .....	154
<b>APÊNDICE 2 – TABELAS DE MAPEAMENTO DO CICLO BÁSICO DE PRODUÇÃO (CBP) .....</b>	156
<b>APÊNDICE 3 – LISTA DE VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO</b> .....	162
<b>APÊNDICE 4 – DIAGRAMA ADAPTADO DE PRECEDÊNCIAS DE CADA SISTEMA CONSTRUTIVO INVESTIGADO</b> .....	164

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relacionamento entre risco e desenvolvimento econômico para os quatro aspectos da industrialização .....	37
Figura 2: Organograma do sistema tradicional .....	48
Figura 3: Tipos de tecnologia que variam com a padronização do processos de fabricação .....	50
Figura 4: Processo de fabricação comparado com a sistematização do produto .....	51
Figura 5: Matriz de avaliação – Subsistemas funcionais X Elementos de sistematização .....	56
Figura 6: Exemplo hipotético do diagrama adaptado de precedências para o mapeamento dos processos intrínsecos e constantes .....	60
Figura 7: Fluxograma de pesquisa .....	73
Figura 8: Fundação direta convencional em alvenaria de tijolos .....	82
Figura 9: Execução da estrutura e viga de baldrame .....	82
Figura 10: Execução do envelope .....	83
Figura 11: Pilares com eletrodutos embutidos .....	83
Figura 12: Montagem da estrutura do telhado e cobertura pronta .....	84
Figura 13: Painéis concretados .....	85
Figura 14: Fundação e preparação para contrapiso .....	86
Figura 15: Posicionamento de painel de fachada frontal .....	86
Figura 16: Montagem de painéis de divisórias internas .....	87
Figura 17: Montagem das lajes e execução do telhado .....	88
Figura 18: Formas metálicas e placas concretadas .....	89
Figura 19: Etapas de execução das fundações .....	90
Figura 20: Estrutura e cobertura pronta .....	90
Figura 21: Execução do envelope .....	90
Figura 22: Fundações em radier .....	93
Figura 23: Casa pronta .....	93
Figura 24: Transporte de uma edificação semi montada .....	95
Figura 25: Descarregamento e execução de painel autoportante .....	96
Figura 26: Execução de divisória interna .....	97
Figura 27: Execução de telhado pré-montado .....	98
Figura 28: Radier pronto para a montagem .....	99
Figura 29: Detalhe de armadura do encontro de paredes .....	100
Figura 30: Concretagem das paredes .....	100
Figura 31: Kit correspondente às paredes de uma casa e envelope montado .....	101
Figura 32: Chicotes antes da colocação e já colocados nos eletrodutos .....	101

Figura 33: Instalações embutidas nas paredes .....	102
Figura 34: Execução da estrutura do telhado e casa pronta .....	102
Figura 35: Coordenação modular e espessura das paredes .....	103
Figura 36: Panorama geral dos equipamentos da fábrica .....	103
Figura 37: Preparação para concretagem de radier .....	104
Figura 38: Detalhes de reforço com barras de aço .....	105
Figura 39: Montagem e concretagem dos perfis .....	105
Figura 40: Execução da cobertura .....	106
Figura 41: Montagem da estrutura da edificação .....	108
Figura 42: Execução da alvenaria .....	108
Figura 43: Vista da residência pronta .....	109
Figura 44: Mão-de-obra total (T) necessária para 1m <sup>2</sup> de área habitável .....	113
Figura 45: Relação entre mão-de-obra (MDO) considerada industrial e mão-de-obra artesanal (r) .....	114
Figura 46: Índice de produção industrial .....	115
Figura 47: Matriz de avaliação pela sistematização do produto .....	119
Figura 48: Processo de fabricação comparado com a sistematização dos produtos .....	122
Figura 49: Indicador de eficiência do desenho do processo .....	129
Figura 50: Indicador de flexibilidade de robustez .....	130
Figura 51: Indicador de grau de interdependência dos processos .....	131
Figura 52: Indicador de grau de separação dos processos .....	133
Figura 53: Indicador de índice de variedade de materiais .....	134
Figura 54: Indicador de grau de padronização das operações .....	135

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relação das questões secundárias de pesquisa em cada fase da investigação .....	20
Quadro 2: Fatores que tendem a promover o uso de técnicas de pré-fabricação .....	38
Quadro 3: Fatores que inibem o uso de técnicas de pré-fabricação .....	39
Quadro 4: Relação das funções e regras do <i>kanban</i> .....	41
Quadro 5: Características da qualidade de tecnologias de edificação de baixo custo para gestão de processos consideradas na elaboração do método de avaliação .....	57
Quadro 6: Requisitos de desempenho em gestão de processos .....	58
Quadro 7: Critérios de confecção do diagrama adaptado de precedências .....	59
Quadro 8: Indicadores de desempenho .....	61
Quadro 9: As relações entre os indicadores e os requisitos de desempenho .....	61

Quadro 10: Relação dos sistemas construtivos com características básicas .....	75
Quadro 11: Classificação dos sistemas construtivos investigados de acordo com sua origem .....	111
Quadro 12: Classificação preliminar dos sistemas construtivos pelo processo de fabricação .....	116
Quadro 13: Classificação preliminar pela sistematização dos produtos .....	121
Quadro 14: Relação dos requisitos de desempenho dos métodos de avaliação .....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa do déficit habitacional na região Sul e total no Brasil .....	17
Tabela 2: Tabela de avaliação do processo de fabricação .....	112
Tabela 3: Tabela P3 – dados do diagrama de processos referente ao CBP das tecnologias avaliadas .....	127
Tabela 4: Tabela P5 – resultados dos indicadores de desempenho de cada tecnologia avaliada .	127

## **SIGLAS**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEF: Caixa Econômica Federal

ONG: Organização Não-Governamental

BNH: Banco Nacional da Habitação

SFH: Sistema Financeiro da Habitação

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

ISO: International Organization for Standardization

TQC: Controle da Qualidade Total

JIT: Just in Time

TQM: Administração da Qualidade Total

SUSEPE: Superintendência de Serviços Penitenciários

PVC: Policloreto de Vinila

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E TEMA DA PESQUISA

A questão habitacional, no Brasil continua sendo um problema enfrentado há décadas, agravada pelo êxodo rural, pelas grandes taxas de crescimento demográfico e por um gradativo aceleração do processo de urbanização, principalmente, das grandes metrópoles brasileiras. Esse problema se agravou na segunda metade da década de 70, quando se notou uma grande reversão do crescimento econômico, que refletiu na redução da oferta de empregos e, por conseqüência, a diminuição do poder aquisitivo da população. Em decorrência disso, verificou-se um grande crescimento migratório da população em direção às grandes cidades.

Na busca de melhores condições de vida, essa parcela excedente da população encontra uma sociedade industrializada, que tem como objetivos principais a racionalização e a produção em grande quantidade. As indústrias, por sua vez, buscam utilizar o mínimo possível de mão-de-obra, devido à utilização de equipamentos que substituem o trabalho artesanal. Com a grande demanda de mão-de-obra desqualificada, cabe ao Estado a tentativa de solucionar o problema do desemprego, criando continuamente postos de trabalho (LUCINI, 1984).

Em decorrência disso, houve o crescimento acentuado do déficit habitacional que, na década de 80, era estimado em cerca de 6 milhões de novas unidades (BNH, 1981). A estimativa para o déficit habitacional no ano de 2000 não mudou muito, ficando atualmente, em torno de 6,6 milhões de novas moradias. Desse número, cerca de 81,3% corresponde à incidência da necessidade de habitações na área urbana e 29,3% do total engloba todas as áreas metropolitanas do país, totalizando, aproximadamente, 2 milhões de novas moradias. Em termos regionais, o Nordeste lidera a demanda de novas habitações, com necessidades estimadas em mais de 2,5 milhões de unidades. Já, na região Sul, a demanda total por novas moradias é de 690 mil, destacando-se um número considerável de 309 mil unidades, no Estado do Rio Grande do Sul, com 116 mil apenas na região metropolitana de Porto Alegre (Fundação João Pinheiro, 2001). A tabela 1, a seguir, mostra a relação dos Estados da região Sul e os números do déficit habitacional, além do total no Brasil, correspondente ao ano de 2000.

Especificação	Déficit Habitacional		
	Total	Urbano	Rural
<b>Sul</b>	<b>690.312</b>	<b>589.144</b>	<b>101.168</b>
Paraná	260.648	229.069	31.579
Região Metropolitana Curitiba	75.668	70.489	5.179
Santa Catarina	120.400	100.006	20.394
Rio Grande do Sul	309.264	260.069	49.195
Região Metropolitana Porto Alegre	116.010	112.053	3.957
<b>BRASIL</b>	<b>6.656.526</b>	<b>5.414.944</b>	<b>1.241.582</b>

Tabela 1: Estimativa do déficit habitacional na região Sul e total no Brasil. Fonte: Fundação João Pinheiro, 2001

Os levantamentos mostram, ainda, que cerca de 83,2% do total do déficit habitacional urbano corresponde às famílias com rendimento inferior a três salários mínimos. Além disso, praticamente a maioria desse número está concentrada nas regiões metropolitanas dos estados (Fundação João Pinheiro, 2001, p. 168).

Em termos de mudança desse quadro, várias alternativas tem sido discutidas junto às instituições financeiras estatais. Uma delas é a Caixa Econômica Federal (CEF), a qual possui várias linhas de financiamentos para as diversas faixas de rendimento. Relacionando com a maior necessidade enfrentada pelo déficit, a instituição oferece um programa que depende do poder público, chamado de Pró-Moradia, que objetiva apoiá-lo no desenvolvimento de ações articuladas com outras políticas setoriais, resultando na melhoria das condições de vida de famílias de baixa renda, de até três salários mínimos (CARVALHO, 2003).

A par disso, discute-se o novo papel do Estado na oferta de habitações e de parcerias de agentes públicos e privados. Tem-se evidenciado que, nas últimas décadas, a oferta de bens e serviços em geral e, em particular, na habitação vem sofrendo profundas mudanças, devido à tendência de reduzir a intervenção direta dos agentes públicos na provisão de investimentos para esse setor e de estimular a participação de agentes não-públicos, quais sejam, o setor privado, as organizações não-governamentais (ONGs) e da própria comunidade (WERNA et. al, 2002).

Essa tendência significa que o novo papel do Estado está relacionado com a facilitação e não mais como de apoio. Identifica-se que essa nova função está relacionada com a regulação técnica e pela parceria com a sociedade civil. A primeira diz respeito à satisfação do cliente, através da qualidade da unidade habitacional, a qual foi muito contestada no passado e pela burocracia tecnológica, que regula as diversas etapas do processo de provisão, a saber: licenciamento de terrenos e/ou construções, fiscalização financeira e do processo de construção. Já a segunda, por sua vez, relaciona-se com os

métodos de provisão de habitação popular, através de parcerias entre o Estado, a iniciativa privada e a comunidade civil, esta representada por associações (WERNA et. al, 2002).

Na tentativa do equacionamento do problema habitacional brasileiro, foi criado o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e o Banco Nacional da Habitação (BNH), na década de 60, os quais promoveram um grande incentivo financeiro na produção de habitações, com o objetivo de prover novas unidades habitacionais e a criação de novos postos de trabalho. Com isso, verificou-se o intenso surgimento de novos sistemas construtivos industrializados, tanto importados de países desenvolvidos assim como os criados pelo setor privado, pelas universidades e instituições de pesquisa. Mas, em meados dos anos 70, houve o surgimento ainda maior de tecnologias em um conjunto habitacional, no Estado de São Paulo, servindo assim, como um laboratório para o desenvolvimento e avaliação dos sistemas construtivos (IPT, 1985).

Muitas dessas tecnologias não se adaptaram ao contexto técnico devido à baixa qualidade dos materiais e processos construtivos, introduzidos sem os devidos cuidados na sua implantação. Com o passar do tempo, a preocupação de avaliação de desempenho e do controle de qualidade vem à tona, no Brasil. A justificativa para isso foi o desenvolvimento dessas tecnologias sem a devida avaliação prévia, ao invés do que ocorreu nos países desenvolvidos, no período de pós-guerra, os quais produziam componentes e sistemas construtivos, ao mesmo tempo em que se criava uma mentalidade de produção industrial e, assim, a necessidade de comprovar sua eficiência através de avaliações de desempenho e de qualidade (IPT, 1985).

Surgem, então, métodos de avaliação de sistemas construtivos, que buscam verificar o desempenho das edificações no que diz respeito a avaliações técnicas, ambientais, sociais e gerenciais. Contudo, as avaliações de tecnologias, no Brasil, tiveram maior ênfase na questão técnica e ambiental.

No contexto ambiental, pode-se citar a avaliação do desempenho térmico, por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na vila tecnológica de Curitiba de Michaloski (2002) e a avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da mesma vila tecnológica, como subsídios para a escolha de tecnologias apropriadas em habitações de interesse social de Dumke (2002).

Quanto à questão técnica, essa também se faz presente através das normas de avaliação de sistemas construtivos. Recentemente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2002) lançou um conjunto de normas que avalia o desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Tais normas

englobam os requisitos gerais, avaliação da estrutura, pisos internos, fachadas e paredes internas, coberturas e sistemas hidrossanitários.

Por outro lado, a avaliação de tecnologias nas questões de produção e gerencial pouco tem-se pesquisado, destacando-se o método de avaliação de sistemas construtivos de Duarte (1982) que buscou investigar o processo de fabricação das edificações, através de conceitos da industrialização na construção, dentro do paradigma da construção em massa. Na década de 90, as pesquisas relacionadas à avaliação de tecnologias, com o foco gerencial, por sua vez, passam a ser investigadas com os trabalhos de Silva (1996), que analisam estratégias de seleção tecnológica, segundo os custos de manutenção, e de Barros (1996), que apresenta uma metodologia para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios. Englobando os conceitos de gestão dos processos de produção, dentro do novo paradigma da construção denominado construção enxuta, San Martin (1999) propõe uma sistemática de avaliação de sistemas construtivos para habitações de interesse social.

Como já foi enfatizado anteriormente, a Caixa Econômica Federal possui diversas linhas de financiamentos para as diversas faixas de renda, além de dispor uma lista de vários sistemas construtivos, homologados tecnicamente para esse fim. Propõe-se, portanto, como tema da presente pesquisa a necessidade de avaliação das tecnologias homologadas tecnicamente dessa instituição financeira, tendo como foco a análise dos processos de fabricação dos elementos construtivos e a execução das edificações em canteiro de obras para habitações de interesse social.

## 1.2 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Através das considerações realizadas anteriormente, tem-se como problema de pesquisa a carência de avaliação de sistemas construtivos em potencial para a produção de habitações de interesse social, sob o ponto de vista da industrialização na construção e da gestão dos processos de produção de edificações. Diante desse problema, surge uma questão geral de pesquisa: os sistemas construtivos, homologados tecnicamente pela Caixa Econômica Federal, são suficientemente eficientes com relação aos processos de fabricação dos componentes e de produção das edificações? Além disso, surgem diversas questões secundárias para esta pesquisa, as quais são investigadas nas três fases do desenvolvimento do trabalho, quais sejam: pesquisa de levantamento e estudo de caso múltiplo; escolha dos métodos de avaliação e aplicação dos mesmos; e, avaliação dos sistemas construtivos. Tais fases serão detalhadas no capítulo 4.

Como pode ser visualizado no quadro 1 a seguir, as questões secundárias, num primeiro momento, dizem respeito à investigação dos sistemas construtivos disponíveis para financiamento pela Caixa Econômica Federal, e como se pode realizar a descrição dos mesmos, afim de identificar todas as etapas que envolvem a construção de uma edificação. Num segundo momento, questiona-se como se pode realizar uma avaliação dos sistemas construtivos selecionados, para identificar quais são os requisitos de desempenho que eles devem possuir para serem eficientes na produção de habitações de interesse social. Por fim, investiga-se como as tecnologias selecionadas são vistas diante dos conceitos das sistemáticas de avaliação, para identificar qual delas possui melhores condições de produzir, com eficiência, tais edificações, além de mostrar a relação existente entre os métodos.

RELAÇÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA EM CADA FASE		
FASE I	FASE II	FASE III
– Por que avaliar os sistemas construtivos oferecidos pela CEF?	– Como se pode avaliar os sistemas construtivos com vistas à execução dos mesmos?	– Como os sistemas construtivos são vistos diante da industrialização na construção e da gestão dos processos de produção?
– Quantos sistemas construtivos a CEF dispõe para financiamento no Estado?	– Quais requisitos de desempenho são necessários para que um sistema construtivo seja eficiente, no processo de execução de habitações de interesse social?	– Quais sistemas construtivos possuem melhores condições de desempenho diante da industrialização e da gestão na produção de habitação de interesse social?
– Como se pode realizar uma descrição detalhada dos sistemas construtivos?		– Qual a relação existente entre as duas sistemáticas de avaliação
– Quais as principais características dos sistemas construtivos?		

Quadro 1: Relação das questões secundárias de pesquisa em cada fase da investigação

Com o incentivo à produção de habitações através da criação do SFH e do BNH, nas décadas de 60 e 70, viu-se a introdução de sistemas construtivos com características industrializadas, como foi mencionado anteriormente, facilitando a construção em massa de edificações tanto unifamiliares como multifamiliares. Com a crise no sistema habitacional, com a extinção desses programas na década de 80, voltou-se a praticar a construção com o sistema convencional, sendo o mesmo considerado, pelos órgãos financeiros, mais eficiente com relação às questões técnicas de conforto térmico, acústico, resistência dos materiais, dentre outras, possibilitando o financiamento de empreendimentos imobiliários, mesmo com baixas intensidades, até o final da década de 90.

Por outro lado, a partir do ano 2000, a CEF passou a homologar tecnicamente sistemas construtivos com características industrializadas para as diversas modalidades de financiamentos, voltando a acreditar em tecnologias não-convencionais de produção de habitações. Através do exposto, justifica-se, em parte, a decisão de se investigar e avaliar tais sistemas construtivos com relação à

industrialização na construção e à gestão dos processos de produção de edificações, visto que a quantidade de sistemas construtivos credenciados por essa instituição financeira é considerável até o presente momento, num total de 12 tecnologias.

Além disso, verifica-se a necessidade de evidenciar quais sistemas construtivos são compatíveis para a produção de edificações unifamiliares, de interesse social, através dos requisitos de cada método e, conjuntamente, além de analisar a adaptabilidade dos mesmos quando aplicados em diferentes regiões. Com isso, pode-se oferecer diferentes alternativas de tecnologias, com condições de atingir, com eficiência, os requisitos de desempenho e proporcionar a satisfação dos agentes financeiros.

### 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

A presente pesquisa tem como objetivo principal avaliar o desempenho de sistemas construtivos em potencial para a produção de habitações unifamiliares, de interesse social, sob o ponto de vista da industrialização na construção e da gestão dos processos de produção.

Já, como objetivos específicos, vê-se a necessidade de:

- a) aplicar a sistemática de avaliação de tecnologias sob a visão da industrialização na construção de habitações e analisar o desempenho de cada uma delas;
- b) aplicar a sistemática de avaliação de tecnologias de edificações de interesse social, sob a visão da gestão dos processos de produção e analisar o desempenho de cada uma delas;
- c) apresentar os sistemas construtivos considerados mais adequados para a produção de habitação de baixo custo, através da análise conjunta dos princípios das sistemáticas de avaliação.

### 1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A presente pesquisa limita-se, primeiramente, na investigação de sistemas construtivos que possibilitem a produção de habitações unifamiliares. Além disto, decidiu-se, também, avaliar as tecnologias que a Caixa Econômica Federal (CEF) dispõe para as diversas modalidades de financiamento, tendo como foco principal o Pró-Moradia, que tem o objetivo de abranger famílias de até três salários mínimos.

Por outro lado, o desenvolvimento do trabalho limita-se, também, na pesquisa das tecnologias mais próximas da região metropolitana de Porto Alegre, pois cerca de um terço do déficit habitacional medido no Estado do Rio Grande do Sul encontra-se localizado nesta região, conforme apresentado anteriormente na tabela 1.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação divide-se, basicamente, em 9 seções:

Capítulo 1: apresenta a contextualização, o tema, o problema, a justificativa, os objetivos principal e específicos, as limitações e a estrutura da pesquisa;

Capítulo 2: tece considerações sobre a literatura existente a respeito da industrialização na construção e da gestão dos processos de produção;

Capítulo 3: descreve os métodos de avaliação de sistemas construtivos escolhidos para posterior aplicação às tecnologias selecionadas;

Capítulo 4: mostra o método de pesquisa utilizado, descrevendo as fases do desenvolvimento do trabalho;

Capítulo 5: analisa e descreve detalhadamente cada sistema construtivo selecionado, apresentando os trabalhos realizados em fábrica e em canteiro de obras, além de apresentar fotos de cada etapa;

Capítulo 6: expõe os resultados da aplicação das sistemáticas de avaliação, bem como uma discussão conjunta, confrontando os requisitos dos dois métodos de avaliação;

Capítulo 7: tece as considerações finais do trabalho, uma discussão dos objetivos da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros;

Referências bibliográficas: relaciona os autores citados no decorrer do desenvolvimento do trabalho;

Apêndices: mostram as entrevistas, as tabelas e os diagramas adaptados de precedências de cada sistema construtivo investigado.

## 2 A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO E A GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

---

O presente capítulo consiste numa revisão da literatura existente sobre a industrialização da construção e da gestão de tecnologias. Apresenta-se um debate de diversos conceitos importantes relacionados aos processos de gestão da produção e industrialização na habitação, além dos princípios relacionados de cada visão. Além disso, apresentam-se algumas considerações a respeito de fatores condicionantes para a seleção tecnológica, bem como considerações parciais sobre a revisão.

### 2.1 DEFINIÇÕES

Inicialmente, apresentam-se alguns conceitos relacionados com a industrialização na construção e a gestão dos processos de produção, além de definições gerais que serão utilizadas nos princípios e métodos de avaliação de tecnologias construtivas para a produção de habitações, em especial as de interesse social. Tais conceitos auxiliam na compreensão de alguns princípios e das sistemáticas de avaliação dos sistemas construtivos selecionados.

#### 2.1.1 Conceito de habitação de interesse social

A Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (2002) afirma que habitação de interesse social é aquela que se destina às famílias que possuem renda de até R\$ 2.000,00, tendo como foco principal àquelas com faixa salarial de até R\$ 600,00. Já a visão da legislação do município de São Paulo, em seus diversos decretos, afirma que famílias que possuem renda mensal inferior a doze salários mínimos se enquadram em programas destinados à habitação de interesse social (SÃO PAULO, 1992).

Por outro lado, a melhor definição de habitação de interesse social, sendo utilizada no contexto desta pesquisa, é aquela relacionada com uma intervenção para fins habitacionais voltada para a população de baixa renda, que vivem em habitações subnormal e em condições de habitabilidade precária, podendo incluir em seu plano apenas o parcelamento do solo, bem como a construção de edificações (SÃO PAULO, 1992; FREITAS, 2001).

## 2.1.2 Conceitos relacionados com o sistema construtivo

Sabbatini (1989) define sistema o construtivo como sendo um processo de construção caracterizado por possuir elevados níveis de industrialização e organização, sendo que constitui-se de um conjunto de elementos e componentes que se interrelacionam e integrados no processo. Já a ABNT (2002) considerara que sistema construtivo é um conjunto de elementos e instalações harmoniosamente integrados, o qual deve satisfazer o programa de necessidades previamente estabelecido, tendo que atender as exigências do usuário durante a vida útil de projeto prevista para a edificação.

Por outro lado, San Martin (1999) reforça que sistema construtivo é um conjunto de elementos e de intervenientes que interage na função produção, que se relacionam e se integram entre si de forma a construir uma edificação.

Deve-se levar em conta, também, a definição de método construtivo, que corresponde a um conjunto de técnicas construtivas, as quais são independentes e organizadas, sendo empregado na construção de uma parte de uma edificação (SABBATINI, 1989).

Tais partes são formadas por subsistemas, subdivididos em produtos que formam uma parte complexa da edificação, geralmente constituída por um conjunto de componentes e/ou materiais, devendo cumprir um conjunto amplo de funções e atender as exigências do usuário, como define a ABNT (2002). Tem-se como exemplo os subsistemas estrutura, cobertura, divisórias internas, fachadas, dentre outras. Por outro lado, Duarte (1982) acrescenta que um subsistema pode ser considerado como uma parte da edificação que, por suas dimensões e seu grau de elaboração assegura sozinho a responsabilidade de, pelo menos, uma função técnica.

De um modo geral, cada sistema construtivo, junto com suas partes já definidas, possui um modo específico de se produzir um edifício, fundamentado em métodos construtivos tradicionalmente empregados em uma certa região, sendo chamado de processo construtivo (SABBATINI, 1989). Para complementar essa idéia, um processo construtivo refere-se a um conjunto de métodos ou técnicas de produção de sistemas construtivos, componentes e elementos (ABNT, 2002), através de um conjunto de conhecimentos, meios materiais e sua aplicação no processo de execução de uma edificação (DUARTE, 1982).

De acordo com as definições apresentadas, neste trabalho será considerado que um sistema construtivo é definido como sendo um processo construtivo, com elevados níveis de industrialização, o qual é composto por subsistemas funcionais, que desempenham uma ou mais funções técnicas, com a

devida organização e integração entre as partes constituintes, objetivando a satisfação das necessidades do usuário. Tal definição mostra-se mais apropriada na consideração das tecnologias descritas no capítulo 5.

### 2.1.3 Conceitos relacionados com a racionalização

Um sistema construtivo, que possui um processo de construção com elevado nível de industrialização, tem incorporado o conceito de racionalização, além da padronização, componentização, pré-fabricação, coordenação dimensional e modular, as quais são assim definidas por Duarte (1982).

- **padronização**: é o processo pelo qual partes ou produtos são feitos de tal modo a serem similares, ao ponto de haver intercambialidade, podendo ser comprados dentro de limites considerados aceitáveis em termos de tamanho, forma, qualidade, resistência, etc.;
- **componentização**: diferenciação do sistema construtivo em estruturas autônomas ou separadas, ou, ainda, subsistemas funcionais. Isso significa que cada subsistema possui componentes correlacionados entre eles, podendo ser modificado sem acarretar alterações substanciais nos demais;
- **pré-fabricação**: é a produção antecipada de componentes ou seções padronizadas de edifícios, em fábrica ou em canteiro de obras, ficando prontas para rápida montagem no local da construção.
- **coordenação dimensional**: corresponde as dimensões dos diversos componentes que estão relacionados entre si, seguindo uma lei matemática de atividade e multiplicidade.
- **coordenação modular**: é o estabelecimento de uma gama de dimensões múltiplas e inteiras de uma dimensão básica ou módulo, para ser utilizado no dimensionamento de elementos do edifício;

Dessa forma, o conceito de racionalização diz respeito à utilização da maneira mais eficiente dos recursos do processo construtivo, numa abordagem sistêmica com o foco direcionado para as várias etapas dos processos de produção, conforme Saldanha (1995). Além disto, no desenvolvimento de um projeto deve-se analisar aspectos como a eficiência, otimização e a economia (PERALTA, 2002).

Por outro lado, Melhado (1994) afirma que a racionalização pode ser aplicada em qualquer método, processo ou sistema construtivo, sendo que isso significa a adoção de medidas de padronização de componentes, materiais, simplificação de operações, aumentando, assim, a produtividade, e que pode

trazer grandes reduções de custos. Tais medidas devem ser adotadas ainda nas etapas de projeto, devido às implicações com relação a dimensões, especificações e detalhamentos que devem constar no mesmo.

Para Sabattini (1989), a racionalização construtiva é definida como sendo um processo composto pelo conjunto de ações com o objetivo de otimizar todos os recursos, desde materiais, pessoas, organizações, energia, tecnologia, tempo e até finanças, para a execução da edificação em todas as suas fases. Por outro lado, para Guedes; Quelhas (1995) a racionalização abrange todos os intervenientes da cadeia produtiva da construção civil, sendo percebidas, por exemplo, na normalização e certificação de produtos e serviços, além de programas educacionais desenvolvidos por instituições públicas e privadas.

Nota-se que, através do exposto, o conceito de racionalização está relacionado com o sistema construtivo como um todo. Isto é, medidas de racionalização em um sistema construtivo devem ser adotadas a partir da sua concepção inicial, inserindo a coordenação modular e dimensional para a padronização dos projetos e componentes, visando a melhoria da qualidade e a otimização de todos os recursos disponíveis para a execução de uma edificação.

#### 2.1.4 Conceitos de industrialização na construção de habitações

A indústria da construção vem passando por diversas mudanças no que diz respeito ao seu processo de produção. No caso particular da construção de habitações, verificou-se o surgimento de diversos sistemas construtivos não-convencionais, os quais são considerados como industrializados.

Porém, Duarte (1982) salienta que se deve levar em conta que no sistema construtivo tradicional ou convencional utilizam-se diversos materiais e componentes provenientes da indústria e a simples aplicação desses nas construções não significa que o processo construtivo passou a ser industrializado. Para evitar essa confusão, é necessária uma definição precisa de um processo construtivo considerado industrializado.

Diversos autores definem a construção industrializada comparando-a com uma cadeia de montagem da indústria automobilística. Esses teóricos afirmam que racionalização, mecanização, produção em série e padronização de componentes atingem os objetivos de aumentar a produtividade, isto é, produzir em grandes quantidades, numa gama reduzida de modelos, utilizando-se de mão-de-obra pouco numerosa e com pouca qualificação. Diante disso, a melhor definição para o processo de

construção industrializada para habitações de interesse social é aquela que Terner; Turner (1972)<sup>1</sup> apud Duarte (1982) defendem, a qual se caracteriza pela fabricação de componentes em grandes quantidades, antes produzida artesanalmente e de maneira individual, agora, através de um novo procedimento que abrange quatro visões: a sistematização dos produtos, a especialização da mão-de-obra, a concentração da produção e a mecanização. Tais elementos são considerados na escolha da melhor sistemática de avaliação de sistemas construtivos para habitação, sob a ótica da industrialização na construção.

A sistematização dos produtos está relacionada com a utilização de componentes padronizados, os quais devem possuir características previamente estabelecidas, considerando fatores dimensionais, forma, peso, qualidade e desempenho como pontos primordiais dentro dos limites de aceitação. Sendo assim, o projeto pode ter um papel muito importante na criação de condições para a racionalização de um sistema construtivo, que pode influenciar diretamente no produto edificação, bem como na produtividade, custos e na organização. Tais intervenções devem ser introduzidas gradativamente, iniciando-se pela gerência e pelo corpo técnico da empresa, na cadeia de fornecedores de materiais e no processo de produção em fábrica e no canteiro de obras (TERNER;TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

O significado da especialização da mão-de-obra está relacionado com a divisão do trabalho em operações mais simples, distribuindo-se em equipes de trabalhadores, desempenhando assim, atividades com mais eficiência e perícia. Com essas medidas, a empresa não necessitará investir muitos recursos para o treinamento da mão-de-obra, pela simplicidade e repetitividade das tarefas (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

Com o aumento da produção, a empresa deve possuir uma visão do mercado para proporcionar a conquista dos clientes finais. Para isso, a concentração da produção deve ser estudada, pois tem a finalidade de aumentar os efeitos de aglomeração, isto é, economia de escala, controle de qualidade e maior consolidação e eficiência de penetração no mercado. Assim, a empresa deve ter mobilidade na sua produção, adquirindo matérias-primas existentes na sua região (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

Além disso, San Martin (1999) reforça, ao afirmar que, para se obter vantagens competitivas na escolha ou na introdução de uma nova tecnologia, deve-se levar em conta conceitos sobre estratégia de produção e de operações. Com isso, as empresas terão condições de obter um desempenho mais

---

<sup>1</sup> TERNER, I. D.; TURNER, J. F. C. **Industrialized housing, the opportunity and the problem in developing areas.** Cambridge: Mass., 1972. (Ideas & Methods Exchange, 66).

eficiente diante dos concorrentes, oferecendo ao cliente final um produto com qualidade, utilizando o mínimo de recursos.

Por outro lado, Brandão (2002) assegura que, com a extinção do Sistema de Financiamento Habitacional (SFH) no início dos anos 90, as empresas passaram a oferecer financiamentos próprios, estreitando a relação com o cliente. Assim, as construtoras passaram a tratar os projetos das habitações com outra visão, enfocando a flexibilidade na concepção dos projetos, permitindo a personalização, a planta aberta e a possibilidade de escolha, com um novo condicionante no processo produtivo. Mas, dependendo do campo de atuação da empresa, na produção de habitações de alto padrão ou de interesse social, há uma exigência de modificações que tendem a aumentar os custos. No caso específico da produção de habitações com interesse social, a flexibilidade é mínima ou nula, tornando-se restrita a personalização de projetos para a construção de habitações destinadas a famílias de baixa renda.

A mecanização tem como objetivo substituir, eventualmente, a mão-de-obra em algumas atividades realizadas manualmente, proporcionando aumento da produtividade. O uso da mecanização torna-se viável economicamente quando existem grandes volumes de produção, visto que os investimentos iniciais na aquisição de equipamentos são grandes. Assim, essa decisão deve possuir uma ligação muito estreita com a concentração da produção. Em contrapartida, na construção tradicional, observa-se que a mecanização existe independente dos conceitos discutidos anteriormente e, mesmo assim, não é considerada como industrializada, pois ainda utiliza processos construtivos convencionais (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

### 2.1.5 Conceitos relacionados com a gestão dos processos

A gestão é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000, p. 8) como sendo “atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização”. A mesma norma define, ainda, que organização é um “grupo de instalações e pessoas com um conjunto de responsabilidades, autoridades e relações” (ABNT, 2000, p. 9).

Conforme o dicionário Aurélio, a definição dada a fluxo, o mesmo está relacionado com a idéia de movimento e continuidade, como no caso de correntes de água, tráfego de veículos, dentre outros. Para San Maritn (1999), o fluxo corresponde a uma seqüência de atividades desenvolvidas continuamente no decorrer do processo construtivo, envolvendo mudanças espaciais, temporais e de procedimentos. Segundo o mesmo autor, na função produção, pode haver diferentes tipos de fluxos, quais sejam, fluxos de trabalho, fluxos de materiais, fluxos de montagem ou fluxos de informações.

No que se refere a processos, Shingo (1996, p. 37) define como sendo "... o fluxo de materiais no tempo e no espaço; é a transformação da matéria-prima em componentes semi-acabado e daí a produto acabado." Da mesma forma, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000, p. 7) define processo com sendo "conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transforma insumos (entradas) em produtos (saídas)".

Além disso, Shingo (1996) assegura ainda que as operações podem ser visualizadas como o trabalho realizado sobre o material pelos trabalhadores e máquinas, tendo interações no fluxo de equipamentos e operadores no tempo e no espaço.

Através dessas afirmações pode-se dizer que a gestão dos processos de produção na construção de habitações, no contexto desta pesquisa, procura coordenar um conjunto de atividades contidas em instalações (fábricas e canteiro de obras), buscando melhorar a interatividade da transformação das matérias-primas em produtos acabados.

Para Heineck (1983), atividade é um módulo de trabalho elementar, podendo ser a colocação de um tijolo na parede, transporte de material, espera por uma informação, dentre outras. O mesmo autor afirma que serviço corresponde a um conjunto de atividades que é relacionado com um determinado elemento geométrico, como, por exemplo, a execução de uma parede de 25 cm, envolvendo a conclusão total desse subproduto. Já Koskela (1992) defende, por sua vez, que atividades de fluxo corresponde a todas as atividades que compõem os fluxos, sendo que estas não agregam valor ao produto ou subproduto.

### 2.1.6 Conceitos relacionados com medição de desempenho

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000, p. 7), o conceito de requisito está relacionado com a "necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente, de forma implícita ou obrigatória." Já desempenho, segundo o IPT (1985, p. 9), procura "caracterizar o edifício como um produto definido cuja função é a de satisfazer as exigências do usuário." Por outro lado, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2002, p. 4) define desempenho como sendo um "comportamento em uso de um produto." Para a mesma norma, requisito de desempenho significa as "condições qualitativas que devem ser cumpridas, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário durante a vida útil de projeto", ou ainda, as "qualificações esperadas pelo usuário" (ABNT, 2002, p. 5).

Lantelme (1994) define medição como sendo um processo que envolve a decisão quanto ao que medir, como coletar, processar e avaliar os dados, incorporando tais levantamentos às empresas com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão.

Através da análise destas definições, o conceito de indicador de desempenho adotado pela pesquisa diz respeito à uma medida quantitativa ou qualitativa, a qual busca analisar o cumprimento dos requisitos de desempenho previamente elaborados para auxiliar na tomada de decisão.

## 2.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES

A construção de habitações foi marcada por muitas evoluções, tanto tecnológicas como nos processos construtivos durante o século XX. Muitos foram os fatores que influenciaram para as mudanças, sendo que o acontecimento mais marcante foi o fim da Segunda Guerra Mundial, a qual deixou cidades de vários países arrasadas e, por conseqüência, suas populações sem moradia. Diante disso, faz-se necessário relatar como foi que ocorreu a industrialização da construção de habitações, tanto num panorama internacional como no caso do Brasil.

### 2.2.1 Um panorama da industrialização na construção de habitações

De acordo com Broberg (1986), o século XX foi marcado pela grande evolução da inovação em métodos industriais e na maioria das áreas de produção. No entanto, na construção civil, os conceitos da indústria são parcialmente aceitos, pois ainda não é possível considerar que ela é um processo industrial em relação a outros setores produtivos. O verdadeiro processo de produção industrializado é caracterizado pela integração vertical, ou seja, coordenado como um todo, desde a matéria-prima até o marketing da empresa, incluindo pesquisa e desenvolvimento em cada setor, tendo aspectos individualmente integrados entre a totalidade do processo, não existindo assim, na maioria das vezes, na construção civil.

Gann (1996) enfatiza que, através das linhas de produção da indústria automobilística, desenvolvidas por Henry Ford, arquitetos europeus e norte-americanos direcionaram fabricação de componentes para habitações em fábricas. Várias tentativas tem sido realizadas, desde então, para transferir os conhecimentos da produção em massa de automóveis e outros setores, com o objetivo de diminuir custos na produção de edificações. No entanto, há a necessidade de comparar as técnicas de produção entre as diferentes indústrias para notar diferenças físicas, explicar aspectos organizacionais de produção e relacionar esses processos de aprendizagem. Comparando-se com outros produtos, as habitações possuem grandes dimensões e, usualmente, são imóveis, possuindo, assim, um alto grau

de complexidade no número e variedade de componentes, aumentando o grau de incertezas e, além disso, as edificações devem ser duráveis, por isso torna-se onerosa a produção.

Sendo assim, o tamanho e a imobilidade da habitação significam que a mesma é montada e/ou produzida no local de consumo, ao contrário de outros produtos que são transportados para o ponto de venda. Isso obriga que economias com mão-de-obra, com equipamentos de transporte de componentes sejam considerados. Portanto, o grande número e variedade de conexões dos componentes, a grande incerteza do processo de produção e do grau de singularidade do produto final, podem ser um entrave para a inovação e uso da mecanização na técnica de produção (GANN, 1996).

Broberg (1986) argumenta que o desenvolvimento da industrialização na construção ocorreu, basicamente de um modo geral, em três fases distintas. O primeiro caracterizou-se no período compreendido desde o final da Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 70, através da construção em massa de habitações. O segundo avanço ocorre quando surge a grande variabilidade da sociedade e a necessidade de reconhecer a importância das comunidades urbanas e o início de uma era anti-industrial. E, por fim, de acordo com (Drewer, 1990), o terceiro avanço caracteriza-se pela globalização do mercado da construção ou o chamado sistema internacional da construção.

Broberg (1986) e Finn (1992) concordam em afirmar que, com a destruição urbana em algumas regiões da Europa e de algumas cidades no Japão, na Segunda Guerra Mundial, surgiu a necessidade de reconstruir as cidades num curto espaço de tempo, visto que milhões de pessoas estavam desabrigadas. Essa fase contribuiu para o grande desenvolvimento de técnicas construtivas industrializadas. O período entre 1955 e 1965 foi considerado como o primeiro salto da industrialização na construção, sendo que a padronização fez grande diferença nas técnicas de produção e desenvolvimento nas técnicas de coordenação.

Além do desejo de produzir grande quantidade de habitações, rapidamente, os governos desses países incentivaram a geração de empregos em diversos setores da indústria. Para isso, foi necessária a utilização dois princípios básicos na indústria: o uso de mão-de-obra barata na operação de equipamentos especiais e a tentativa de alcançar a produção industrial organizada, baseada na administração (BROBERG, 1986).

Para o mesmo autor, as empresas de construção adquiriram uma moderna administração da produção através de dois objetivos principais: mecanização e técnicas de controle da produção. Os mesmos conseguiram, dessa forma, introduzir a produção em massa de habitações, utilizando a lógica da padronização, estabelecendo assim, a pré-fabricação de componentes em série dentro de indústrias.

Nessas foi possível a utilização de coordenação dimensional em procedimentos de projetos e desenvolvimento de empreendimentos coordenados, a fim de organizar o processo de construção em paralelo com a fabricação dos componentes, configurando, assim, sistemas construtivos fechados (BROBERG, 1986).

No início dos anos 70, houve o declínio da produção em massa, quando surgiu uma tendência para a produção de pequenas habitações individuais, que levou a um retorno a uma organização urbana clássica. Essa nova visão é impulsionada pelos profissionais da construção que passam a ter reações anti-industriais, causando um atraso no desenvolvimento. Dessa forma, identifica-se o segundo salto da industrialização na construção, com o surgimento de várias questões, que tentam identificar se os avanços tecnológicos suprem os requisitos de altos níveis estéticos e de qualidade dos produtos durante a vida útil das edificações e como se pode reformar ou renovar as cidades uma vez já consolidadas (BROBERG, 1986).

Para responder essas questões, admite-se que a sociedade evoluiu e, além disso, novas tecnologias foram introduzidas, aliadas ao modernismo e à internacionalização de recursos do mercado da construção. Sendo assim, a tecnologia, as idéias e os mercados evoluíram, tornando-se mais complexo o tratamento diante da sociedade. Houve mudanças de pensamento e no modo de ver a construção por parte dos projetistas, os quais relacionam a qualidade das construções com a vida útil da edificação, detalhando-a em subsistemas. São feitas, então, mudanças no planejamento das cidades, na procura de regular a construção, através da formulação de códigos de regulamentação, e melhorar a infraestrutura. Passa-se, também, a procurar a redução do consumo de energia tanto na produção como na utilização da edificação e na própria tipologia dos edifícios (BROBERG, 1986).

Para Drewer (1990), o terceiro salto da industrialização da construção ocorreu quando houve a internacionalização dos mercados, na forma da globalização e do desenvolvimento cada vez mais acentuado da indústria. As informações começam a fluir com mais rapidez entre os países, possibilitando o conhecimento das novas tecnologias utilizadas nas mais diversas áreas. Considera-se essa fase como sendo um sistema internacional da construção, definido como a relação entre o nível tecnológico da indústria da construção de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Isto é, um país é considerado desenvolvido quando possui empreendimentos de alta complexidade e possui recursos para desenvolver novas tecnologias e aplicá-las nesses projetos.

Entretanto, Drewer (2001) postula que qualquer país considerado em desenvolvimento, que possua poucos recursos para satisfazer suas demandas por construção, teria que ingressar no sistema

internacional da construção. Isso seria possível apenas se o país possuísse dificuldades internas em tecnologias e serviços de construção, justificando, assim, a aquisição de recursos internacionais.

Um exemplo claro disso, são os países produtores de petróleo do Oriente Médio que notaram não possuir recursos técnicos de construção para satisfazer a demanda de infraestrutura para a extração de óleo, durante a década de 70 e início dos anos 80. Esses países trocaram petróleo com países desenvolvidos por alternativas tecnológicas, para suprir suas necessidades de obras de engenharia e de sistemas construtivos para habitações (DREWER, 2001).

Já na construção civil da Europa, de acordo com Broberg (1986), pôde-se notar esse avanço a partir da exportação de sistemas construtivos, tornando-se comum essa prática entre países em desenvolvimento. Entretanto, deve-se ressaltar que a exportação de tecnologias de construção (sistemas construtivos, componentes e conceitos de construção urbana) está sujeita a uma coordenação de produção entre o exportador e as necessidades do país que importa. Isto é, deve haver uma compatibilização dos requisitos, além da situação enfrentada pelo importador, para que a tecnologia não se torne inadequada para o mesmo. Para isso, uma alternativa é o investimento em pesquisa e desenvolvimento, proporcionando atividades de experimentos com novas tecnologias de construção. Possibilita-se, dessa forma, demonstração das mesmas e o incentivo à continuidade dos estudos, podendo-se criar parcerias com empresas e instituições, como forma de suporte financeiro.

Drewer (1990) adverte que toda essa evolução, tanto nas tecnologias de construção como no mercado internacional para países em desenvolvimento, apresenta vantagens e desvantagens claramente identificáveis. As vantagens estão relacionadas com o aperfeiçoamento da ciência e da tecnologia fornecidas por países desenvolvidos. Por outro lado, as desvantagens dizem respeito à dependência dos avanços tecnológicos, fazendo com que se retraia o desenvolvimento da indústria da construção interna dos países em desenvolvimento.

Nesse contexto, houve o desenvolvimento dos sistemas construtivos destinados à construção de habitações através da gradativa agregação de valor aos subsistemas das tecnologias de habitação. A evolução das técnicas construtivas ocorreu em três fases: introdução de materiais e componentes industrializados, utilização de mecanização e o aumento na complexidade nas instalações prediais (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

A primeira etapa do desenvolvimento dos sistemas construtivos caracterizou-se pela gradativa introdução de materiais e componentes industrializados no processo tradicional de produção de edificações, passando a representar uma parcela importante no volume total de produção. Assim, a

construção torna-se cada vez mais dependente desses materiais, identificando-se um processo de industrialização indireta (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

Gropius (1977) e Duarte (1982) concordam ao afirmar que, através da evolução das diversas indústrias, os fabricantes de materiais e componentes para construção introduziram no mercado produtos industrializados. Através disso, foi possível introduzir melhorias na qualidade e nas características dos materiais, no que tangem aspectos relacionados com resistências mecânicas, físicas, dentre outras propriedades. A utilização cada vez mais freqüente desses, proporcionou o melhoramento de produtos pré-fabricados, além de trazer melhor qualidade no acabamento em canteiro de obras, além de oferecer equipamentos diversos para facilitar o processo construtivo. Sendo assim, passa-se a implementar medidas de racionalização no sistema construtivo tradicional, visando o melhoramento e o sucesso do mesmo.

Bender (1976) e Duarte (1982) apresentam que a segunda etapa da industrialização na construção de habitações deu-se a partir de grandes investimentos para a produção em massa. Para isso, passou-se a optar pela utilização de componentes e elementos pesados, como por exemplo, partes de estruturas e fechamentos de edifícios fabricados fora do canteiro de obras. Além disso, a produção em fábrica dos elementos propicia melhor qualidade nos acabamentos e aumento da produtividade em detrimento aos serviços realizados em canteiro de obras. Diante disso, além de investir em novas soluções, necessitou-se a utilização intensa de mecanização para o deslocamento das peças pré-fabricadas da indústria até o canteiro de obras, e o posicionamento dos elementos na montagem da edificação.

Por fim, Ehrenkrantz (1987) e Bender (1976) revelam que a terceira etapa da industrialização na construção apresenta-se na forma da evolução dos subsistemas de instalações prediais. Os sistemas construtivos passam a se adaptar a essa nova exigência, buscando a racionalização da produção da edificação. O envoltório da habitação não é mais considerado aquele que demanda maiores custos, sendo que as instalações passam a desempenhar um papel importante na edificação. Desse modo, os projetos sofrem diversas e profundas modificações, os quais necessitam de um detalhamento apurado para posterior execução.

Para Gann; Senker (1993), uma evidência dessa evolução é o uso cada vez mais freqüente de componentes eletrônicos nas edificações, principalmente em países desenvolvidos, os quais realizam grandes pesquisas ao aplicarem novas tecnologias nas conhecidas “casas inteligentes” (*smart homes*). Dentre estes componentes, pode ser citado a aplicação de sistemas que busca um controle mais

preciso no consumo de água e energia, e sistemas de monitoramento da segurança utilizando, equipamentos eletrônicos.

No Brasil, a evolução da indústria da construção, em especial no subsetor edificações, iniciou-se na década de 60, pela criação do Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e o Banco Nacional da Habitação (BNH). Tais planos tinham como objetivo principal a promoção da construção e aquisição de novas moradias, pela classe de menor poder aquisitivo (BARON; MARTUCCI, 1995). Com estes incentivos, buscava-se alcançar altas produtividades e melhores eficácias nas construções, através da racionalização industrial, sendo confundida com a racionalização da indústria mecânica. Utilizaram-se essas medidas com o objetivo de adequar a situação “não-industrial” às necessidades da falta de habitação na época, em comparação com o ocorrido na Europa após a Segunda Guerra (ABDALLA, 1995).

Segundo Abdalla (1995), foi na década de 70, através do incentivo à produção de grandes quantidades de habitações, que surgiram diversos sistemas construtivos. Tais tecnologias foram desenvolvidos, basicamente, por três setores: produtivo privado, agentes promotores de habitação popular e pelas universidade e instituições de pesquisa, mas com pouco sucesso devido aos baixos investimentos destinados à construção civil (IPT, 1985). Os mesmos utilizavam elementos pesados, porém houve a gradativa introdução de elementos de pequeno porte, com características industriais, sendo produzidos em canteiro de obras ou em usinas fixas, como, por exemplo, blocos de concreto e estudos com solo cimento. Continuava-se o tratamento do planejamento, controle e organização da produção de uma forma taylorista, ou seja, dos moldes da indústria clássica e como um empreendimento industrial.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1985), muitas dessas tecnologias, algumas importadas de países desenvolvidos, não se adaptaram, sendo que as inovações foram introduzidas sem os devidos cuidados na sua implantação. Com o passar do tempo, a preocupação de avaliação de desempenho e do controle de qualidade vem à tona no Brasil. A justificativa para isso, foi o desenvolvimento dessas tecnologias sem a devida avaliação prévia, ao invés do que ocorreu nos países desenvolvidos no período de pós-guerra. Esses produziam componentes e sistemas construtivos, ao mesmo tempo em que se criava uma mentalidade de produção industrial e, assim, a necessidade de comprovar sua eficiência através de avaliações de desempenho e de qualidade.

Para esse instituto (IPT), os sistemas construtivos utilizados no Brasil podem ser classificados, basicamente, em três categorias: processo tradicional, processo convencional e processo

industrializado. O primeiro diz respeito ao fato de que os elementos principais da construção serem confeccionados em canteiro de obras, com utilização intensa de mão-de-obra artesanal. O segundo, os elementos principais são também obtidos em canteiro de obras, porém com a reunião de vários materiais adquiridos no mercado e com a utilização intensa da mão-de-obra dividida em várias tarefas e com mecanização parcial. E, o terceiro, a utilização da racionalização e da mecanização intensa dentro do canteiro é a que prevalece, substituindo, assim, a mão-de-obra. Verifica-se, nesse contexto, que existe uma combinação entre os processos de construção tradicional e o processo convencional, com a racionalização, através da utilização de vários materiais adquiridos no mercado, com outros transformados em obra, além da utilização da mecanização na substituição da mão-de-obra (IPT, 1985).

Por outro lado, Abdalla (1995) garante que, no Brasil, com a mudança do papel do Estado, diminuindo os recursos para a produção de habitações, ocorre a mudança da estratégia das empresas, as quais não têm mais condições de implementar inovações. Elas deixam de lado a construção com, características industriais, voltando a utilizar os processos tradicionais, mas com medidas de racionalização nos processos de produção, visando agora a qualidade e a gestão empresarial.

Atualmente, com o aumento da competição entre as empresas e a entrada de empresas estrangeiras no mercado da construção brasileira, vê-se a busca pelo aumento da qualidade dos produtos e a diminuição dos custos de produção, através da implantação de processos racionalizados com novas tecnologias (BARROS, 1996). Além disso, tais medidas são tratadas como uma alternativa, atuando de maneira simultânea nos principais problemas relacionados com a produção, como o aumento da produtividade e a melhoria das condições de trabalho. Porém, nota-se que existem esforços para a aplicação das mesmas em pontos isolados em atividades e etapas da construção (SALDANHA, 1995).

Através de tais considerações sobre a industrialização na construção num panorama internacional e nacional, em especial no subsetor edificações, identifica-se que as evoluções ocorreram, basicamente, com o aumento da demanda de moradias devido a fatores diversos intrínsecos a cada país.

### 2.2.2 Vantagens e desvantagens da industrialização na construção de habitações

A industrialização na construção, em especial no subsetor edificações, possui vantagens e desvantagens as quais devem ser consideradas no desenvolvimento ou decisão por um sistema construtivo, com características industrializadas. Tais aspectos dizem respeito ao fator custo/risco, relacionado com os conceitos apresentados anteriormente, além de fatores que inibem e promovem a utilização de componentes pré-fabricados.

Há de se considerar que a opção por um sistema construtivo mais industrializado implica no aumento de custos, à medida que os elementos da industrialização, conceituados anteriormente, são acrescentados. Dessa forma, pode-se desenvolver tecnologias, utilizando parcialmente tais elementos, obtendo-se sistemas construtivos parcialmente industrializados, com o objetivo de diminuir o fator custo/risco. A figura 1 mostra como pode ser analisada a relação entre o risco e o nível de desenvolvimento, sendo que o primeiro aumenta de baixo para cima, no eixo vertical e o segundo diminui da esquerda para a direita, no eixo horizontal para os elementos da industrialização. Portanto, o maior risco é quando se utiliza todos os níveis da industrialização. Por outro lado, o risco com padronização é sempre relativamente baixo, porém ele também caía levemente com o aumento do desenvolvimento (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982).

Um exemplo de sistema construtivo que utiliza todos os níveis de desenvolvimento são aqueles que possuem elementos e componentes pesados, os quais necessitam de equipamentos especiais para o transporte dentro da fábrica, para o canteiro de obras e dentro desse. Tais tecnologias só permanecem no mercado se possuírem grande volume de obras, visto que assim conseguirão amortizar os altos investimentos iniciais na aquisição de tais equipamentos. Por outro lado, tecnologias que utilizam apenas a sistematização dos produtos e a especialização da mão-de-obra tem grandes chances de se manterem no mercado, mesmo sem grande volume de obras.

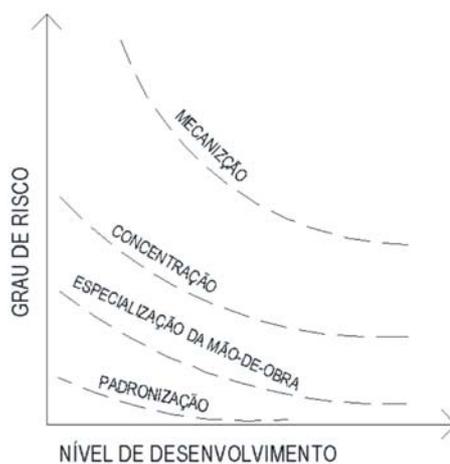


Figura 1: Relacionamento entre risco e desenvolvimento econômico para os quatro aspectos da industrialização (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982)

Barros (1996) aponta que, atualmente, se nota um maior aumento na que a utilização de processos racionalizados de produção, através da preocupação com questões referentes à qualidade. Dessa forma, as empresas devem seguir algumas diretrizes no processo de implementação de uma nova tecnologia. Tais etapas dizem respeito, antes de mais nada, na existência de motivação e preparação da organização na busca de um ambiente organizacional favorável e disponibilização de recursos na

implantação de uma nova tecnologia. Com a adoção de tais medidas, pode-se afirmar que as empresas terão baixo grau de risco e com razoável nível de desenvolvimento diante dos elementos da industrialização.

Por outro lado Gann; Senker (1993), enfatizam que o uso de elementos pré-fabricados na construção de habitações está condicionada a diversos fatores, que refletem desde a organização da empresa, a maneira apropriada de utilização dos componentes, o projeto até o gerenciamento da tecnologia, bem como o treinamento apropriado dos trabalhadores. A falta de planejamento na fase inicial do projeto pode acarretar diversas implicações para o seqüenciamento da produção, devido à falta de detalhamento que, posteriormente, pode acarretar problemas de interface entre componentes.

Assim, identificam-se diversas vantagens e desvantagens, as quais devem ser consideradas na utilização de um sistema construtivo, que possui pré-fabricação de elementos. Os fatores positivos estão expostas no quadro 2 a seguir:

- melhorias na qualidade podem garantir produção contínua em ambientes controlados. Produção, entrega e instalação são menos dependentes no tempo;
- aumento na rapidez da construção em canteiro de obras podem ser aprimorados, devido à diminuição de elementos produzidos em obra, aliviando os espaços;
- diminuição do número de operações. Esse método construtivo é vantajoso quando há escassez de mão-de-obra qualificada;
- diminuição de áreas de estoques de materiais, tornando o canteiro de obras menos complexo;
- pode-se testar o sistema construtivo em tamanho real em laboratório para resolver problemas antes de levar para o canteiro de obras;
- grandes flexibilidades em projetos podem ser aprimorados com a construção modular.

Quadro 2: Fatores que tendem a promover o uso de técnicas de pré-fabricação (GANN; SENKER, 1993)

As principais vantagens da utilização de sistemas construtivos considerados industrializados estão relacionados com a capacidade de produzir componentes de expressiva qualidade em acabamentos e com baixo índice de variabilidade dimensional, devido ao maior controle da execução dos serviços em fábrica. Além disso, considera-se de grande importância o aumento da rapidez na construção e/ou montagem em canteiro de obras, pois verifica-se a diminuição de elementos produzidos em canteiro de obra, reduzindo as áreas de estoques de materiais, tornando o local de produção menos complexo.

Entretanto, existem fatores que tendem a retardar a utilização de elementos pré-fabricados na construção de habitações. As mesmas estão expostas no quadro 3 a seguir:

- existem limitações para os projetos com utilização de elementos modulares;
- as construções modulares necessitam de projetos prévios e requerem fabricação fora do canteiro de obras. Os elementos devem ser projetados antecipadamente e os projetos não podem ser mudados
- deve-se deixar espaços para instalações. Se as instalações atrasarem, podem ocorrer conseqüências adversas em trabalhos subseqüentes;
- problemas com instalações e conexões em módulos podem inibir o uso. Por exemplo, variações podem ocorrer entre componentes feitos em obras e em fábrica e falta de projetos podem dificultar a instalação;
- usualmente, não é possível estocar elementos em canteiro de obras, sendo necessário o posicionamento dos mesmos no momento da entrega. Isto requer um planejamento rigoroso da entrega em conjunto com o cronograma de obra;
- os consumidores costumam ser conservadores e resistentes em relação a novas tecnologias de sistemas construtivos.

Quadro 3: Fatores que inibem o uso de técnicas de pré-fabricação (GANN; SENKER, 1993)

Os autores afirmam que os maiores problemas para a não utilização de sistemas construtivos pré-fabricados estão nas limitações e na interface projeto e produção, visto que deve haver uma compatibilidade perfeita entre eles para que não proporcione problemas e atrasos no momento da montagem. Por esses motivos, projetistas consideram que as desvantagens sobrepõem as vantagens, como por exemplo, falhas nos pedidos de componentes comprados no mercado, podem afetar a instalação de outros elementos e mudanças de projeto. Mas, isso pode ser evitado desde que sejam proporcionados maiores detalhamentos das especificações requeridas, fazendo com que sejam evitados problemas dessa natureza.

### 2.3 ALGUNS PRINCÍPIOS DA GESTÃO DE PROCESSOS

Várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de encontrar a melhor forma de gerenciar a produção, tanto na indústria da manufatura como na indústria da construção civil. Nessa última, estudos estão aplicando princípios de várias correntes da gestão dos processos da indústria, como por exemplo, Just in Time (JIT), Total Quality Control (TQC), Total Quality Management (TQM), dentre outras. Tais pesquisas buscam identificar e otimizar a produção na construção de edificações, com a aplicação dos princípios desses modelos de sistemas de produção.

Para Ohno (1997), *Just in Time* (apenas a tempo) quer dizer que, num processo de fluxo de produção, as partes constituintes de um produto, na sua montagem, devem ser alcançadas no momento e somente na quantidade necessária, buscando sempre o estoque zero. Com relação a esse aspecto, Corrêa; Giansi (1996) asseguram que a aplicação do mesmo gera efeitos expressivos na organização da produção e, principalmente, na maneira de se visualizar e controlar os fluxos de produção. Para os autores, esse modelo de produção pode ser considerado como uma filosofia de produção, com a necessidade em seguir premissas e princípios, tendo como principais aspectos: a) a produção sem estoques; b) eliminação do desperdício; c) manufatura de fluxo contínuo; d) esforço contínuo na resolução de problemas; e e) melhoria contínua dos processos. Através desses princípios, segundo

Akintoye (1995), o objetivo é estabelecer um sistema de produção puxada pelo cliente final, isto é, a produção se dá a partir da demanda do produto final.

Dessa forma, Krajewski; Ritzman (1992), Corrêa; Gianesi (1996) e Martins; Laugeni (1998) concordam ao afirmar que, com a decisão de trabalhar com estoques reduzidos, começam a identificar os problemas de produção, possibilitando ações corretivas imediatas e estabelecendo fluxos de processos mais eficientes. Com isso, deve-se agir no sentido de estar de acordo com a produção, que é orientada pelo cliente, podendo-se citar a reduzir o tamanho dos lotes de produção, e tornar o processo produtivo mais ágil; dar maior atenção na qualidade dos elementos no local de produção, sem que prejudique o fluxo produtivo, melhorando os processos e operações da produção; e aumentar a eficiência das tecnologias de informação.

Uma ferramenta utilizada no JIT é o Kanban, que corresponde ao método de operação do Sistema Toyota. De acordo com Ohno (1997), a forma mais utilizada pela companhia é a utilização de um pedaço de papel dentro de um envelope, o qual contém informações que são divididas em três categorias: informação de coleta, informação de transferência e informação de produção, sendo carregado dentro da própria montadora e entre esta e as empresas colaboradoras.

O mesmo autor dá o exemplo de um supermercado, para mostrar como funciona essa ferramenta. Quando as mercadorias são compradas pelo cliente e registradas no caixa, cartões, que carregam informações sobre os tipos e quantidades das mercadorias, são passados ao departamento de compras, o qual faz a reposição dos produtos comprados na prateleira, correspondendo ao *kanban* de movimentação. Se o supermercado tivesse fábrica própria para de seus produtos, deveria possuir, além do último, o *kanban* de produção entre a loja e o departamento de produção. Assim, possuindo as informações desse *kanban*, o departamento de produção produziria a quantidade de produtos de mercadorias compradas (OHNO, 1997).

Dessa forma, Ohno (1997) salienta que o *kangan* serve como um pedido de retirada, um pedido de transporte ou entrega, e como uma ordem de fabricação. Tal ferramenta, segundo o mesmo autor, torna-se uma das principais formas de controle na linha de produção, que, baseado nisso, os operários trabalham por conta própria, fazendo com que os mesmos tomem suas próprias decisões, além de promover melhorias no trabalho e nos equipamentos. Além disso, o *kanban* também prima pela eliminação do desperdício, mostrando imediatamente o que é desperdício, levando a um estudo criativo para propostas de melhorias.

Ohno (1997) apresenta no quadro 4, as regras e funções do *kanban*, o qual é praticado com rigidez.

FUNÇÕES DO KANBAN	REGRAS DO KANBAN
1. Fornecer informações sobre apanhar ou transportar.	1. O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo kanban no processo precedente.
2. Fornecer informação sobre a produção.	2. O processo inicial produz itens na quantidade e seqüência indicadas pelo kanban.
3. Impedir a superprodução e o transporte excessivo.	3. Nenhum item é produzido ou transportado sem um kanban.
4. Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias.	4. Serve para afixar um kanban às mercadorias.
5. Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz.	5. Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte, sendo que o resultado é mercadorias 100% livres de defeitos.
6. Revelar problemas existentes e mantém o controle de estoques.	6. Reduzir o número de kanbans aumenta sua sensibilidade aos problemas.

Quadro 4: Relação das funções e regras do kanban. Fonte: Ohno (1997)

No caso da construção habitacional, Akintoye (1995) afirma que se deve quebrar alguns paradigmas de produção no setor, além de qualificar o fornecedor de materiais através de um relacionamento mais estreito com os mesmos e o conhecimento total dos processos produtivos. Segundo o mesmo autor, como a edificação consome um grande número de materiais, os quais são oriundos de várias indústrias e com as mais diversas configurações, esse fato dificulta a aplicação do JIT, mesmo que teoricamente seja viável para o setor.

### 2.3.1 A produção enxuta na gestão dos processos

Womack et al. (1992) analisaram diferentes modelos de produção da indústria automobilística identificando uma série de práticas que fizeram visualizar de forma diferente a função produção, principalmente na empresa japonesa Toyota Motor Company. Através desses estudos, desenvolveram uma nova concepção para relacionar os acontecimentos na produção, considerando a existência de cadeias de fluxos. Além disto, incrementaram essa nova concepção com alguns princípios e conceitos referentes à administração de operações para desvendar o Sistema Toyota de Produção, ou a produção enxuta, denominação dada para definir o novo paradigma da função produção.

Para Womack et al. (1990) essa nova concepção busca o combate ao desperdício, desenvolvendo uma nova cultura gerencial, a qual tende a atender cinco princípios fundamentais: a) especificar precisamente o valor; b) identificar as cadeias de fluxos de valor para cada produto e subproduto ou serviço; c) fazer fluir o desempenho dos fluxos de valor sem interrupção; d) deixar que o cliente acione esse fluxo de valor da produção; e e) perseguir a perfeição. Dessa forma, as empresas buscam otimizar a cadeia produtiva, promovendo uma cultura de administração denominada de pensamento enxuto.

Os mesmos autores afirmam que é muito importante identificar essa cadeia de valor, pois corresponde aos requisitos do cliente final. Identificar essa cadeia, significa reconhecer todas atividades envolvidas na produção até a entrega ao cliente. Tal cadeia de valor é composta por três tipos de atividades, quais sejam, as que claramente agregam valor, as inevitáveis e que não agregam valor e as evitáveis que não agregam valor (WOMACK et al., 1990).

É com base nos conceitos e princípios da produção enxuta que Koskela (1992) propôs o novo paradigma da construção para o subsetor edificações, a construção enxuta. Tal teoria, baseia-se, principalmente, nos conceitos de fluxos estabelecidos por Womack et. al (1990), considerando, também, as premissas de diferentes sistemas de administração, tais como, TQC e o JIT.

Desta forma, Koskela (1992) apresenta os princípios da construção enxuta:

- **Reduzir a parcela das atividades que não agregam valor:** significa analisar os fluxos através da construção de diagramas de fluxo, identificar e medir as atividades que não agregam valor;
- **Aumentar o valor final através da consideração sistemática dos requisitos do cliente:** significa identificar o cliente e seus requisitos, levar adiante um projeto de fluxo sistemático e definir o cliente em cada estágio;
- **Reduzir a variabilidade:** significa utilizar ferramentas e técnicas de análise da produção, tais como diagrama de precedências e outras, controlar estatisticamente o processo (medições e eliminação da causas principais), padronizar, utilizar dispositivos pokayoke (a prova de falha), dentre outras;
- **Reduzir o tempo de ciclo:** eliminar o *work-in-progress*, reduzir o tamanho dos lotes de produção, otimizar o layout reduzindo distâncias, sincronizar os fluxos, mudar as atividades de seqüência para atividades paralelas, isolar a seqüência principal de adição de valor do trabalho de apoio e simplificar o sistema de controle e outras condicionantes;
- **Simplificar através da minimização do número de passos, partes e dependências:** significa reduzir o número de componentes do produto através de mudanças de projeto e uso de pré-fabricados, reduzir o número de passos num fluxo de informação ou material, consolidar atividades, padronizar partes, materiais, ferramentas, etc; evitar interdependências entre atividades, minimizar a quantidade de informação de controle necessária, etc.;

- **Aumentar a flexibilidade de saída:** minimizar o tamanho dos lotes de produção para atender a demanda o mais tarde possível no processo de produção; reduzir a dificuldade dos ajustes iniciais de cada atividade e de mudanças na produção, treinar operários polivalentes, etc;
- **Aumentar a transparência do processo:** fazer programa 5-S, tornar o processo diretamente observável através de um *layout* apropriado e de sinalizações adequadas, tornar partes invisíveis do processo visíveis através de medições, colocar informações sobre o processo nas áreas de trabalho, ferramentas, equipamentos, etc.; utilizar controles visuais para permitir a qualquer pessoa a identificação o padrão e qualquer desvio do mesmo, reduzir a interdependência entre as unidades de produção (fábricas focadas), etc.;
- **Focalizar o controle no processo completo:** usar times de autocontrole em lotes de produção menores;
- **Introduzir melhoria contínua no processo:** medir e monitorar o melhoramento, estabelecer metas longas, dar responsabilidades pelo melhoramento para todos os empregados, usar procedimentos padrão como hipóteses de *best practice*, ligar o melhoramento com o controle, etc.;
- **Balancear melhorias de fluxo (movimentação, espera e inspeção) com melhorias de conversão:** buscar melhorias não apenas nas atividades de conversão, mas também nas demais atividades, como transporte e inspeção, por exemplo;
- **Praticar Benchmarking:** monitorar o atendimento dos objetivos de produção através da observação de resultados da própria empresa e de resultados para o setor, tanto regionalmente como globalmente.

Um exemplo de utilização dos princípios da construção enxuta foi o estudo realizado por Mawdesley; Long (2002) no Reino Unido, que compreendia, na comparação entre duas obras que utilizavam elementos pré-fabricados para a construção de edificações para escritórios. Os autores afirmam que a pré-fabricação oferece um potencial aprimoramento para o cumprimento dos objetivos da construção enxuta, reduzido desperdício em canteiro de obras em termos de material e mão de obra, além de aumentar a qualidade e reduzir as incertezas. Os autores identificaram, ainda, que a utilização de tais elementos reduz a necessidade de utilização de mão-de-obra.

Por outro lado, segundo os mesmos autores, pode ocorrer o oposto, isto é, se não houver grande integração entre as partes constituintes dos projetos, deve-se dar maior prioridade a essa fase. Tais

medidas ajudam a evitar muitos problemas no momento da construção, sem a necessidade de alterações no projeto (MAWDESLEY; LONG, 2002).

## 2.4 FATORES CONDICIONANTES PARA A SELEÇÃO TECNOLÓGICA

Para Duarte (1982), a industrialização na construção de habitações revela alguns aspectos que condicionam a seleção de uma tecnologia apropriada para o desenvolvimento de um empreendimento. Segundo o autor, de um modo geral, identificam-se fatores inibidores desse processo, podendo-se citar os seguintes: as construções são executadas sob determinadas especificações, medidas e materiais, em locais diferentes, tendo dificuldade na aplicação de métodos de produção em massa; o edifício possui grande volume e peso, dificultando o transporte e manuseio dos produtos fabricados fora do canteiro, tornando, assim, mais caros; a redução dos custos que a industrialização proporciona não atinge totalmente o empreendimento (custos como terreno, urbanização e manutenção não variam com a industrialização); muitos sistemas construtivos ditos industrializados não são completos, visto que muitos subsistemas são executados como no sistema tradicional; a padronização dos produtos é muito complexa e envolve grande número de elementos que se interrelacionam e a construção civil apresenta mão-de-obra desqualificada, sendo o setor considerado pelo governo como grande absorvedor desses operários e geradora de emprego.

Além disso, San Maritn (1999) afirma que, na seleção de tecnologia habitações de interesse social, deve-se procurar nela características de maior simplificação dos acabamentos, maior grau de padronização de elementos construtivos e do projeto e uma escala de produção relativamente maior do que a técnica tradicional. Portanto, a opção por um sistema construtivo diferenciado busca a redução dos custos de produção, baixa intensidade de capital, a possibilidade da implantação da auto-construção e a aceitação do cliente.

Em contrapartida, Rezende et. al (2002) apresentam outras barreiras ou facilitadores na escolha da tecnologia para a produção de habitações de interesse social, tais como: ação governamental pode acelerar o desenvolvimento tecnológico ou mesmo inibi-lo; a estrutura organizacional da empresa, tendo sintonia desde o planejamento estratégico da mesma até os objetivos da inovação tecnológica; na implantação de qualquer inovação tecnológica é necessário que os recursos humanos estejam devidamente capacitados e treinados, sendo um requisito para o sucesso do mesmo; com relação às características intrínsecas da tecnologia, os aspectos referentes às condições locais, tempo de implantação da tecnologia, recursos necessários e tamanho das mudanças. Além disso, existem barreiras para as inovações, por exemplo: aspectos relacionados com a tecnologia (falta de

padronização e aprovação técnica e ênfase na redução de custos); quanto maior o conhecimento de determinada tecnologia, diminui-se as incertezas com relação a ela; as resistências culturais tanto da empresa quanto da comunidade; custos financeiros da empresa e aspectos gerenciais.

Dos aspectos citados anteriormente, Barros; Sabbatini (1998) e Rezende et al. (2002) constatam que o setor de recursos humanos apresenta maiores problemas pela falta de capacitação diante de uma nova tecnologia implantada. Além disso, cabe ressaltar que o processo de inovação só se viabiliza a partir de equipes motivadas e com poder de decisão para vencer resistência nas novas técnicas. E essas devem transferir conhecimento, trocar experiências e promover aprendizado contínuo para se obter uma constante evolução tecnológica da empresa.

Para Barros e Sabbatini (1998) as novas tecnologias devem possuir algumas características para que obtenham sucesso, destacando-se o estabelecimento de um sistema de decisões que envolve a alta gestão da empresa, a qual define diretrizes, ações e investimentos a serem realizados. O estabelecimento de sistemas de informação e a disponibilidade de recursos, deve ter participação total e comprometimento da alta gerência da empresa, pois nos recursos incluem-se o tempo, pessoas, materiais, componentes e equipamentos e os recursos financeiros. Além disso, deve-se salientar que se necessita identificar a situação tecnológica da empresa, que vai diagnosticar o nível tecnológico que a empresa possui, analisando os métodos e processos construtivos.

Por outro lado, Silva (1996) ressalta que a seleção tecnológica abrange aspectos econômicos relacionados com a vida útil da edificação, sendo uma restrição na aplicação de metodologias de seleção tecnológica. Alguns fatores que irão interferir na opção por um sistema construtivo são apresentados a seguir:

- a natureza e o papel do agente promotor do empreendimento;
- a origem e os fatores condicionantes do emprego dos recursos;
- grau de intervenção dos usuários da edificação no processo de produção;
- nível de renda dos adquirentes e sua real capacidade de pagamento, sendo condicionante no preço final da habitação;
- a forma de organização do processo de projeto, ou seja, o grau de integração entre os profissionais, as responsabilidades, dentre outras.

No que tange o campo da pesquisa e desenvolvimento, Gann; Senker (1993) verificam a necessidade de aproximação dessa com os sistemas construtivos inovadores. Os pesquisadores devem avaliar qual

o tipo de habitação que está sendo requerida, além de testar as implicações que novas tecnologias podem proporcionar, tanto em empresas que as aplicam como no usuário final. A consequência mais provável da utilização de um sistema construtivo, que não foi testado previamente, será o seu abandono, como constatado em experiências anteriores. Além disso, deve-se ressaltar que o uso de técnicas industrializadas de construção tem grande impacto na organização de processo construtivo, dentro de uma empresa e entre a mesma. Isto é, a mesma sofrerá uma reorganização em sua estrutura de trabalho, tendo que criar novos relacionamentos com diferentes empresas, podendo resultar em diferentes pressões competitivas, as quais não estava habituada a enfrentar, e na técnica de construção, tendo a necessidade de adquirir conhecimentos ligados a industrialização.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Através da análise da literatura, pode-se afirmar que as duas correntes, industrialização na construção de habitações e gestão dos processos de produção estão muito próximas. Elas apresentam princípios e premissas que se complementam, mas tendo um foco diferente. A primeira defende a produção em massa e a segunda, por sua vez, defende que quem deve impulsionar a produção é o cliente final.

Com base nessa revisão da literatura, pôde-se selecionar as sistemáticas de avaliação de sistemas construtivos mais apropriadas para a análise dos processos de produção, dos elementos e componentes em fábrica e na execução de edificações, em canteiro de obras. Os métodos utilizados para este fim são descritos no capítulo seguinte.

### **3 OS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE EDIFICAÇÕES PARA HABITAÇÕES**

---

O presente capítulo descreve os métodos de avaliação de tecnologias de edificações para habitação utilizados para realizar uma classificação de sistema construtivo, que melhor se enquadra diante dos requisitos de desempenho definidos pelos modelos. A apresentação dos mesmos mostra-se necessária pelo fato de elucidar a forma que foi conduzida a coleta e a análise dos dados referentes às tecnologias investigadas. Por fim, será realizada uma discussão entre os métodos, mostrando os pontos em comum entre eles.

Os métodos escolhidos para a avaliação dos sistemas construtivos são: elementos de avaliação da industrialização na construção por sistemas (DUARTE, 1982) e o método de avaliação de tecnologias de edificação para habitações de interesse social, sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção (SAN MARTIN, 1999).

#### **3.1 ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO POR SISTEMAS**

Baseado nos conceitos de industrialização na construção de habitações, Duarte (1982) propôs o método de avaliação de tecnologias de edificações. Inicialmente, o autor apresenta a tecnologia do sistema tradicional, ponto de partida para apresentar a evolução dos sistemas construtivos. Posteriormente, analisa a tecnologia pelo processo de fabricação, isto é, determina o índice de produção industrial, que consiste na medição dos tempos despendidos para a fabricação de componentes em fábrica e na montagem dos mesmos em canteiro de obras. Por fim, averigua a tecnologia através da sistematização dos produtos, ou seja, com o auxílio de uma matriz de avaliação que relaciona os subsistemas da edificação e os elementos da sistematização.

##### **3.1.1 A tecnologia do sistema tradicional**

A construção civil, em especial a área da habitação, é realizada, ainda hoje, através da tecnologia de produção tradicional, apesar da utilização de diversos tipos de materiais industrializados e equipamentos que substituem, em parte, a mão-de-obra. Como os edifícios são executados convencionalmente há muito tempo, essa prática passou a ser comum e aceita entre a sociedade,

podendo variar de região para região. O sistema tradicional pode ser caracterizado, então, pelo fato de que todos os estágios do seu processo construtivo e produtos envolvidos ser bem conhecido por todos os participantes, seja pelos técnicos, empreiteiros ou consumidores, e baseados em especializações e habilidades para interpretar e executar a edificação através, de instruções previamente estabelecidas.

A construção tradicional apresenta, então, uma forma simples de organização, sendo facilmente entendida através do organograma da figura 2 a seguir. Ela mostra que a construção tradicional é colocada em funcionamento pelo cliente, o qual solicita a um arquiteto que realize um projeto contendo suas necessidades. O arquiteto, por sua vez, prepara a planta, elevações, detalhes e especificações para, posteriormente, apresentar ao construtor como a obra deve se desenvolver.

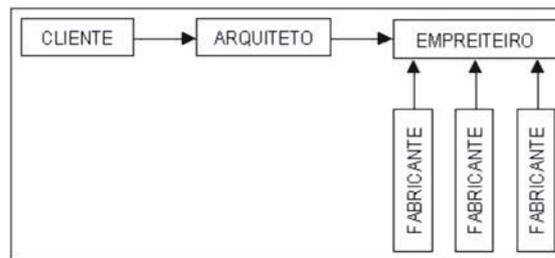


Figura 2: Organograma do sistema tradicional

O processo de projeto do sistema tradicional divide-se, basicamente, em cinco fases distintas:

- **conceituação:** tem-se uma visão geral do todo e uma vaga idéia de uma possível solução;
- **programação:** busca-se quantificar o tipo de pessoas envolvidas, tarefas que irão desempenhar, atividades, necessidades humanas, etc.;
- **análise:** busca-se realizar uma abordagem de questões de local, relações entre atividades, características de espaço, condições do meio ambiente, etc;
- **seleção:** define-se materiais, estrutura, sistemas mecânicos, local e layout;
- **integração:** busca-se dispor os componentes juntos, numa solução planejada com o intuito de atingir os requisitos e critérios pré-estabelecidos.

Algumas limitações mostram-se evidentes na medida em que o projeto se desenvolve, as quais estão relacionadas com o meio físico, com a tecnologia empregada e com os custos envolvidos. Com o fechamento do projeto, entra em cena o empreiteiro, sendo que este não tem o poder de modificar o mesmo. O construtor tem o dever de preparar o local para a construção, manusear os equipamentos, materiais e componentes especificados para a devida ereção da edificação. O empreiteiro pode

procurar subempreiteiros e fabricantes de materiais, componentes e equipamentos para o auxílio na construção.

Com essa estrutura, é possível afirmar que a organização da mesma mostra-se dispersa e descontínua, sendo que os vínculos, que compõem cada passo da realização do projeto, são pequenos e fracos. Com isso, os participantes do empreendimento não trabalham simultaneamente, envolvendo-se pouco a pouco no decorrer das atividades.

Diante desse contexto, pode-se fazer inferências a respeito do processo de fabricação e das edificações resultantes do sistema tradicional. O tipo de organização praticada com esse sistema construtivo propicia a produção de edificações diferentes umas das outras, através da transformação total dos materiais brutos em um produto acabado, configurando um processo de produção completo. Esse modo de construir é resultado do baixo capital fixo que as empresas construtoras possuem, destinando-se a atender apenas o mercado local, não possibilitando que, por exemplo, se utilize a mecanização em obra, mesmo que já se evidencie o uso isolado em alguns canteiros. Além disso, as unidades fundamentais caracterizam-se por semicomponentes, ou seja, produtos semelhantes, possuindo diferentes dimensões definidas pelos fabricantes. Assim, não há necessidade de utilização de coordenação dimensional ou modular nos projetos.

### 3.1.2 A evolução nos sistemas construtivos

A evolução de uma tecnologia parte da transformação do processo de execução e, conseqüentemente, o produto final passa a apresentar diferentes características do inicial. Tais mudanças são realizadas a partir da identificação de defeitos inerentes ao sistema atual que, a partir daí, passa a estudar as razões dos mesmos e procurar novos tipos de componentes que substituam os defeituosos, para que, assim, se encontre a seqüência das mudanças e possibilite a evolução contínua do sistema.

Na construção de habitações, o que se observa na evolução dos sistemas construtivos não-convencionais são o emprego de métodos industriais na produção de componentes e a simples substituição de materiais na composição dos subsistemas, principalmente na estrutura e no envelope das edificações. Além disso, a evolução não atinge totalmente os subsistemas das edificações, pois alguns são executados através de técnicas racionalizadas e outras executadas convencionalmente. Por outro lado, deve-se observar a natureza das evoluções e identificá-las dentro do processo de fabricação das edificações, buscando-se, no contexto da industrialização na construção, um ritmo industrial de produção.

Para a incorporação dos princípios da produção seriada na construção de habitações, deve-se fazer determinados ajustes devido às características especiais das atividades desse setor. Deve-se investigar quais as partes do edifício podem estar sujeitas à possibilidade de produção industrial.

Sendo assim, deve-se diferenciar a tecnologia de forma a classificá-la em três níveis de produção, procurando distinguir cada abordagem de acordo com o grau de automação e padronização dos processos. O primeiro nível é aquele que se relaciona com a produção unitária ou artesanal, em que os operários utilizam diversos tipos de ferramentas, possuindo grande habilidade para desempenhar as funções. O segundo nível refere-se à produção em massa, cujos equipamentos são operados por funcionários, podendo os mesmos desempenhar diversas operações para a conformação do produto. E, por fim, o terceiro nível está relacionado à produção automatizada, em que um funcionário apenas monitora a produção de um processo automático. A figura 3 a seguir mostra que, quanto maior o grau de padronização dos processos produtivos, maior será o nível de industrialização.

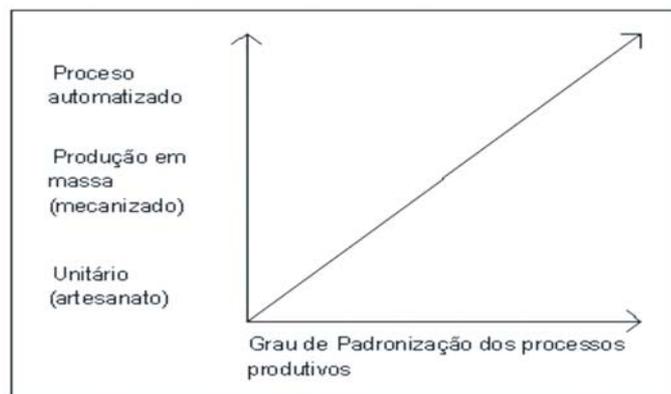


Figura 3: Tipos de tecnologia que variam com a padronização do processo de fabricação

Através dessa classificação, pode-se afirmar que, do modo como a construção de habitações está inserida, o grau de industrialização é o unitário, ou artesanal, mesmo com a utilização de produtos padronizados. Esse fato é identificado pela dispersão da indústria de materiais e pela utilização de um grande número de materiais e componentes diferentes na construção. Pode-se verificar, também, que os sistemas construtivos que são encontrados, no presente momento, no mercado podem ser classificados até o segundo nível, visto que componentes são fabricados tanto em fábrica como em obra, podendo-se notar a utilização da mecanização e da especialização da mão-de-obra.

Com a progressiva utilização de elementos padronizados na construção de habitações, vê-se que quanto maior o grau de industrialização desses, maior será a padronização do produto edificação. Com isso, evidencia-se que a introdução da industrialização no setor de construção de habitações provoca

modificações na tecnologia da sistematização do produto final e na tecnologia do processo de fabricação dos componentes para o mesmo.

Vale lembrar que a tecnologia do processo de fabricação compreende um conjunto de conhecimentos, meios materiais e sua aplicação no processo de execução de uma edificação. Já a tecnologia de sistematização do produto é entendida como sendo o processo de projeto que permite o emprego de um conjunto de componentes padronizados na edificação.

Através dessas definições que Terner; Turner (1972) apud Duarte (1982), apresentam, na figura 4, a seguir, um diagrama que relaciona os conceitos, como forma de mostrar a evolução dos sistemas construtivos, sendo que a célula central corresponde à área indicada para as características de processo e produto de sistemas construtivos em países desenvolvidos.



Figura 4: Processo de fabricação comparado com a sistematização do produto (TERNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982)

Observa-se que no diagrama o processo de fabricação divide-se em artesanal, parcialmente industrializado e totalmente industrializado. Já a sistematização dos produtos divide-se, por sua vez, em tradicional, intermediária e alta tecnologia. Verifica-se que nos exemplos apresentados, as tecnologias “mobile home” e a “casa levitt” mostram-se com processos de produção totalmente industrializados, mas com sistematização de produtos tradicional. A primeira possui componentes pré-fabricados e padronizados e a segunda é executada totalmente em canteiro de obras, sendo que ambas utilizam os mesmos elementos da industrialização na construção, com exceção da mecanização.

Por outro lado, a tecnologia “Habitat 67” é considerada totalmente industrializada com produção em massa possuindo alta sistematização e um alto grau de complexidade na produção de seus componentes, utilizando equipes multidisciplinares formadas por técnicos.

Os elementos para avaliação de sistemas construtivos utilizados por Duarte (1982) são a classificação das tecnologias pelo processo de fabricação e a sistematização dos produtos, através de uma comparação quantitativa e qualitativa, respectivamente, os quais serão detalhados a seguir.

### 3.1.3 Avaliação da tecnologia pelo processo de fabricação

A industrialização, em qualquer setor, passou a ser aceita diante da sociedade, com o objetivo de produzir bens materiais, em grandes quantidades e com melhores características, além de redução de custos, antes realizados artesanalmente. Nesse contexto, pode-se trazer os conceitos desse fenômeno para a construção de habitações, levando em conta as limitações que a mesma apresenta diante desse paradigma.

O primeiro passo para a avaliação dos sistemas construtivos é a consideração de que a padronização é o primeiro aspecto a se levar em conta numa tecnologia de construção industrializada. Porém, é necessário ressaltar, que para ser considerada desse modo, o sistema construtivo deve contemplar os outros três aspectos conceituados no capítulo 2, quais sejam: emprego de mão-de-obra especializada com a conseqüente divisão do trabalho em tarefas simples, a concentração da produção e a mecanização da produção.

Com relação ao emprego da mão-de-obra no sistema tradicional, as atividades são desenvolvidas totalmente no canteiro de obras, sendo que num processo industrializado, as mesmas se dividem entre trabalhos em fábrica e, algumas vezes, em canteiro de obras, as quais são complementares com características artesanais ou semi-artesanais. Diante disso, propõe-se a quantificação da mão-de-obra empregada na execução das atividades, através da adaptação da fórmula 1 da determinação do índice de pré-fabricação de Ordoñez (1974), apresentada a seguir:

$$i = \frac{100}{t_2(t_1 + t_2)}$$

Fórmula 1: Fórmula da determinação do índice da pré-fabricação

As variáveis dessa fórmula correspondem a:

$i$  = índice de pré-fabricação;

$t_1$  = tempo em fábrica (incluindo o transporte), necessário para a realização de uma unidade de medida de obra previamente adotada, expresso em horas-homem/m<sup>2</sup>, de superfície habitável de construção;

$t_2$  = tempo em obra, considerando como tal o tempo de montagem e acabamentos, em geral, expresso em horas-homem/m<sup>2</sup>, de superfície habitável acabada.

Os termos do quociente da fórmula devem respeitar a seguinte condição:

$$t_1 > 0; \text{ e } t_2 > 0$$

O tempo total seja,  $T = t_1 + t_2$  e o quociente entre o tempo em fábrica e o tempo em obra seja:  $r = \frac{t_1}{t_2}$

O autor da fórmula considera apenas como trabalho de caráter industrial na construção de habitações aquele que é desempenhado dentro da fábrica ou usina. Já o trabalho realizado em canteiro de obras, é considerado como sendo artesanal, semi-artesanal ou racionalizado, não sendo levado em conta como industrializado.

Por outro lado, pode-se considerar esse último como industrializado desde que apresente os conceitos da industrialização na construção de habitações apresentados no capítulo 2, isto é, quando é praticada a sistematização dos produtos com a padronização; quando a mão-de-obra se apresenta especializada e organizada, desempenhando atividades simples; quando os aspectos da produção mostram-se concentrados; e quando a produção é mecanizada.

Duarte (1982) sugeriu uma modificação conceitual na fórmula anterior, com o objetivo de adaptar a avaliação quantitativa da proporção do trabalho com características industriais, na execução de um metro quadrado de obra, considerando o fato de que a edificação é um processo essencialmente aditivo de elementos.

Portanto, a fórmula do índice de pré-fabricação passa a ser chamada de índice de produção industrial, representando a parcela de trabalho de características industriais no processo de fabricação, a qual utiliza mão-de-obra com características industriais e atividades artesanais e/ou semi-artesanais. Então, para a fórmula anterior, utiliza-se os conceitos para:

$i$  = índice industrial de produção;

$t_1$  = tempo em atividades inerentes ao sistema, com características de industrialização parcial ou total, necessário para a realização de uma unidade de medida de obra previamente adotada, expresso em horas-homem/m<sup>2</sup>, de superfície habitável de construção;

$t_2$  = tempo em atividades não inerentes ao sistema, com características de trabalho não industriais ou artesanal, necessário para a realização de uma unidade de medida de obra previamente adotada, expresso em horas-homem/m<sup>2</sup>, de superfície habitável de construção, e sendo válidas as demais condições originais da fórmula de Ordoñez (1974) quanto a T e r.

### 3.1.4 Avaliação da tecnologia pela sistematização do produto

Analisando o diagrama da figura 4 que relaciona o processo de fabricação com a sistematização do produto, vê-se que a evolução da tecnologia divide-se em três categorias: tradicional, intermediária e alta tecnologia, sendo que a categoria inicial corresponde à tecnologia do sistema tradicional. Por outro lado, a categoria de alta tecnologia corresponde às edificações com alto grau de sistematização, caracterizada pelos sistemas construtivos pesados (concreto armado ou aço). A categoria intermediária, por sua vez, refere-se às tecnologias evoluídas, a meio caminho entre a tradicional e aos de alta tecnologia.

Visando a utilização dos princípios da industrialização em atividades artesanais, vê-se a necessidade de adoção de medidas de racionalização, através da padronização, componentização, pré-fabricação, coordenação dimensional e modular, conceituadas no capítulo 2, além da utilização de novas matérias e componentes. Tais medidas correspondem à sistematização do processo de projeto, que é o emprego de um conjunto correlacionado de componentes padronizados para formar a edificação. Estas melhorias irão refletir diretamente na produtividade e nos custos de produção dos componentes da edificação. Assim, muda-se o processo de construção, transformando o canteiro de obras na simples montagem de elementos manufaturados.

Para a determinação da evolução de um produto, em especial a edificação, deve-se levar em conta os elementos da sistematização citados, que são empregados para a racionalização da tecnologia, com o objetivo de realizar um relacionamento entre sistematização do produto com a industrialização.

Sendo assim, os princípios da sistematização podem ser introduzidos com a utilização de produtos industrializados, com a racionalização do sistema que corresponde a um conjunto interconectado de

componentes relacionados funcionalmente, com a finalidade de desempenhar um objetivo específico. Para isso, o entendimento da inter-relação existente no sistema deve ser observado.

No caso específico de sistemas construtivos, deve-se observar as funções desempenhadas que são compostas por semicomponentes e componentes que se inter-relacionam, formando um subsistema com objetivos próprios dentro do sistema. Analisando os subsistemas da edificação, permite-se uma melhor visão do comportamento global de todo o sistema.

Portanto, o subsistema corresponde a uma parte da edificação que, por suas dimensões e seu grau de elaboração, assegura sozinho a responsabilidade de, pelo menos, exercer uma função técnica, como por exemplo, o subsistema envelope. O mesmo é formado pelos aspectos abaixo relacionados:

- **componente:** produto que se integra diretamente na constituição da construção, sem responder sozinho a uma função na edificação (componente janela);
- **semi-componente:** produto que foi objeto de uma elaboração, seja em usina ou fábrica, e que, para se integrar na constituição da construção, necessita de outros semi-componentes ou materiais, ou sofrer algum tipo de beneficiamento (semi-componente blocos de concreto, telhas);
- **materiais:** produtos naturais ou fabricados pela indústria que se apresentam, geralmente, sob um aspecto granulado, pulverulento, viscoso ou sólido, os quais são utilizados no canteiro de obras, podendo adaptar-se a uma grande variedade de usos no curso de uma edificação (cimento, cal, areia).

Através disso, os elementos de sistematização (padronização, componentização, coordenação dimensional, coordenação modular e pré-fabricação) podem detectar onde existem as evoluções nos subsistemas. Além disso, pode-se realizar uma comparação qualitativa entre os sistemas quanto à tecnologia de sistematização dos mesmos, baseando-se na natureza e número de elementos de sistematização e subsistemas transformados.

A análise qualitativa das tecnologias é realizada com o auxílio de uma matriz de avaliação, onde as linhas correspondem aos subsistemas funcionais de um edifício e as colunas são os elementos da sistematização. Cada subsistema deve ser analisado de acordo com os cinco elementos da sistematização do produto, definidos anteriormente, admitindo-se três níveis de avaliação: subsistema transformado (ou evoluído), subsistema parcialmente transformado (ou parcialmente evoluído) e subsistema tradicional. A seguir, a figura 5 apresenta um modelo de matriz de avaliação.

	PADRONIZAÇÃO	COMPONENTIZAÇÃO	COORD. DIMENSIONAL	COORD. MODULAR	PRÉ-FABRICAÇÃO	
ESTRUTURA	●	●	●	●	●	
ENVELOPE	●	●	●	●	●	
DIVISÓRIAS	●	●	●	●	●	
PISO	◐	◐	◐	○	◐	
INST. ELÉTRICAS	○	◐	○	○	○	● sistema transformado (ou evoluído)
INST. HIDROSSANITÁRIAS	○	◐	○	○	◐	◐ sistema parcialmente transformado (ou parcialmente evoluído)
FUNDAÇÕES	◐	○	○	○	◐	○ sistema tradicional

Figura 5: Matriz de avaliação – Subsistemas funcionais X Elementos de sistematização (DUARTE, 1982)

### 3.2 AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE EDIFICAÇÃO SOB O PONTO DE VISTA DA GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

De acordo com vários princípios e premissas da gestão dos processos de produção, San Martin (1999) propôs o método de avaliação de tecnologias de edificação para habitações de interesse social. Inicialmente, o autor apresenta a seleção das necessidades de desempenho, consideradas como características da qualidade, em gestão de processos para tecnologias na formulação do método, realizando considerações sobre os mesmos. Posteriormente, realiza a formulação dos requisitos de desempenho, relacionando-os com as características da qualidade, investigadas anteriormente. A elaboração do mapeamento dos processos de produção, por sua vez, é feito na forma de um diagrama de precedências adaptado, apresentando em detalhes as diretrizes para a confecção do mesmo. Por fim, sugere uma sistemática de indicadores de desempenho, que irá medir, quantitativamente e qualitativamente, a eficiência de cada tecnologia investigada.

#### 3.2.1 As necessidades de desempenho de tecnologias de edificação para habitação de baixo custo

San Martin (1999) identificou várias necessidades de desempenho para tecnologias, através da revisão da bibliografia existente, em diversas correntes que tratam de gestão dos processos de produção, as quais também são citadas no capítulo 2. Além disso, o autor relaciona-as com opiniões

coletadas em entrevistas com profissionais e pesquisadores, que trabalham no segmento de habitações de interesse social.

Com a identificação das necessidades de desempenho, em gestão de processos de sistemas construtivos para habitação de interesse social, o autor realizou uma seleção das necessidades com o foco direcionado à análise dos processos intrínsecos e constantes das tecnologias, que são passíveis de avaliação, independentemente de outros fatores, como, por exemplo, canteiro de obras, tipo de contrato, tipologia da edificação, etc. Vale lembrar que os processos intrínsecos e constantes de uma tecnologia são aqueles processos que estão embutidos na tecnologia e que se desenvolvem no decorrer da produção, através da transformação de materiais em subprodutos e, por sua vez, em produtos, ou mesmo a simples montagem de componentes.

O autor descartou algumas necessidades de desempenho, por não estarem relacionados com os processos intrínsecos e constantes, por envolver um alto grau de subjetividade e por serem muito específicos, não sendo possível a avaliação no referido método. Portanto, foram escolhidas treze características da qualidade consideradas para tecnologias de edificação de baixo custo, sob o ponto de vista da gestão de processos. As mesmas estão expostas no quadro 5 a seguir.

<b>Características da qualidade</b>	
1. Mão-de-obra polivalente;	8. Flexibilidade de robustez;
2. Formação de parcerias;	9. Menor habilidade exigida da mão-de-obra;
3. Redução das atividades que não agregam valor;	10. Condições ergonômicas de trabalho;
4. Redução da variabilidade;	11. Tecnologia com sistema fechado de produção;
5. Redução do tempo de ciclo;	12. Utilização dos mesmos materiais básicos;
6. Simplificação;	13. Adaptabilidade em diferentes regiões.
7. Aumento da transparência;	

Quadro 5: Características da qualidade de tecnologias de edificação de baixo custo para gestão de processos consideradas na elaboração do método de avaliação (SAN MARTIN, 1999)

### 3.2.2 Os requisitos de desempenho

Através das características da qualidade identificadas, o autor propõe os requisitos de desempenho em gestão de processos para tecnologias de edificações de interesse social. Com eles busca-se, de forma mais objetiva, a análise do que os sistemas construtivos deveriam apresentar, de acordo com os propósitos das características da qualidade selecionadas anteriormente. No quadro 6, a seguir, apresentam-se as características da qualidade confrontadas com os requisitos de desempenho elaborados.

<b>Característica da qualidade</b>	<b>Requisito de desempenho correspondente</b>
Mão-de-obra polivalente	- Possibilitar um nível mais baixo e homogêneo de habilidade exigida pelas operações intrínsecas.
Menor habilidade exigida da mão-de-obra	
Condições ergonômicas de trabalho	- Utilizar elementos construtivos mais leves.
Formação de parcerias	- Possibilitar o fornecimento freqüente de recursos por um número menor de fornecedores.
Tecnologia com sistema fechado de produção	- Utilizar menor número de materiais diferentes.
Utilização dos mesmos materiais básicos	
Adaptabilidade em diferentes regiões	- Não depender de fornecedores específicos de uma dada região. - Não depender de materiais específicos de uma dada região.
Redução das atividades que não agregam valor	- Empregar elementos com maior valor agregado.
Simplificação	- Padronizar componentes e métodos de trabalho.
Aumento da transparência	- Tornar processos mais simples independentes uns dos outros.
	- Reduzir o número de etapas em obra. - Separar processos em unidades de produção focalizadas.
Redução da variabilidade	- Padronizar componentes e métodos de trabalho.
Redução do tempo de ciclo	- Reduzir o número de processos em série.
Flexibilidade de robustez	- Possibilitar maior flexibilidade de fluxos de processos.
	- Possibilitar maior flexibilidade de frentes de trabalho.

Quadro 6: Requisitos de desempenho em gestão de processos (SAN, MARTIN, 1999)

Nota-se que algumas características da qualidade corresponde a mais de um requisito de desempenho e vice-versa. Segundo o autor, isso é reflexo da dificuldade de se avaliar o atendimento de algumas das características da qualidade selecionadas, somente através dos processos intrínsecos e constantes das tecnologias.

### 3.2.3 O diagrama adaptado de precedências

A utilização de diagramas de precedências e de processos, mostra-se eficaz e aceitável em termos de carga de processamento dos dados. Isso justifica-se pelo fato de que o mapeamento se concentra apenas no fluxo dos processos (fluxo de materiais). Além disso, pode-se desconsiderar o mapeamento das atividades de fluxo (transporte, espera e inspeção), fazendo com que se viabiliza o processamento dos dados de cadeias de processos mais longas e, ao mesmo tempo, torna-se mais curto e específico o mapeamento dos fluxos de processos, sem a necessidade de medição de tempos de duração e de distâncias.

O conceito de cadeia de processos é um conjunto de fluxos de processos que determinam a conclusão de um serviço. Portanto, a cadeia de processo está relacionada à conclusão de um subelemento da edificação, sendo, assim, constituída por um ou mais fluxos de processos, os quais, por sua vez, contém atividades de fluxo e atividades de conversão intrínsecas.

Para a confecção do diagrama adaptado de precedência, deve-se seguir alguns critérios para facilitar o processamento dos dados coletados em campo. Tal diagrama é montado sobre uma estrutura matricial composta por colunas, que correspondem às cadeias de processos simultâneos e linhas, as quais

representam níveis de produção, estabelecidos por graus crescentes de precedências. Portanto, se uma tecnologia possuir três cadeias de processos simultâneos e dez níveis de precedências entre as atividades desses fluxos, por exemplo, deverá ser mapeada sobre uma matriz de três colunas por dez linhas. Seguem, no quadro 7, os critérios de confecção do diagrama adaptado de precedências.

<b>Crítérios de confecção do diagrama adaptado de precedências</b>
1. Não deve ser considerado o tempo das atividades;
2. Deve-se representar todas as atividades de fluxo e de conversão dos fluxos de processos analisados que alterem os materiais e que sejam executados pela empresa, externa ou internamente ao canteiro de obras, e que também sejam intrínsecos à tecnologia utilizada e constantes;
3. A representação gráfica das atividades, quer sejam de fluxos ou de conversão, é dada sempre por um círculo ou retângulo com um código interno que referencia maiores informações contidas em uma planilha de dados de apoio;
4. Os retângulos ou círculos são graficados de forma a obedecer um sistema matricial de localização no mapeamento, composto por níveis de produção (linhas horizontais) e fluxos (linhas verticais);
5. A elaboração das atividades de fluxo ou conversão nessa estrutura matricial deve ter como nível de produção a linha imediatamente posterior à linha do nível de produção da última atividade precedente, podendo esta última atividade pertencer ou não a um mesmo fluxo (possuir uma relação de dependência não física);
6. São utilizadas setas para determinar as precedências e o sentido dos fluxos mapeados.

Quadro 7: Critérios de confecção do diagrama adaptado de precedências (SAN MARTIN, 1999)

A desconsideração do tempo das atividades no primeiro critério está relacionado com o mapeamento, apenas, dos processos intrínsecos e constantes, não tendo necessidade, portanto, da dimensão temporal. Essa decisão foi tomada pelo autor por considerar que as durações das atividades são dependentes do contexto físico e organizacional em que elas estão inseridas, tendo ainda influências decisivas no fluxo de informações. Portanto, o tempo está inerente a variáveis, como organização do canteiro de obras, tipologia da edificação, qualidade e quantidade de recursos e os fluxos de informações empregados nas relações do mesmo, dentre outras.

Com relação ao segundo critério, apenas os processos intrínsecos e constantes que alteram o material devem ser mapeados. Com isso, busca-se o mapeamento de processos que apenas a empresa construtora executa, descartando os processos que o fornecedor do insumo material realiza. Por outro lado, no contexto da presente pesquisa, foi considerada toda a cadeia da produção dos elementos dos sistemas construtivos, com o objetivo de se realizar um estudo mais amplo, mostrando o impacto em toda a cadeia produtiva de cada tecnologia. Desse modo, consideram-se todos os processos intrínsecos e constantes, desde as centrais de produção (externos ao canteiro) até aqueles desempenhados em canteiro de obras (internos ao canteiro).

Os critérios três e seis foram adotados com o objetivo de orientar a padronização das representações gráficas dos mapeamentos. Já os critérios quatro e cinco, por outro lado, estabelecem regras na ordenação das atividades no mapeamento. De acordo com eles, as linhas correspondem aos níveis de produção e às colunas os fluxos, sendo que os primeiros dependem do grau de detalhamento do

mapeamento (considerando ou não as atividades de fluxo de espera, inspeção e transporte intrínsecos da tecnologia). Do segundo depende a possibilidade da realização das atividades simultaneamente. O posicionamento das atividades nessa estrutura matricial, por sua vez, visa garantir que o mapeamento mostre as possibilidades de se executar processos o quanto antes possível, considerando a estrutura de dependências da tecnologia.

A figura 6 mostra um exemplo hipotético do diagrama adaptado de precedências, onde se observa que os processos intrínsecos e constantes da tecnologia possuem quatro fluxos e sete níveis de produção. Possibilita-se, assim, que até quatro unidades de produção ou frentes de trabalho diferentes executem atividades simultaneamente e, ainda, tem-se um atraso de até três níveis das atividades M1 e M2 e de dois níveis das atividades A1, A2 e A3 sem o aumento do número total de níveis.

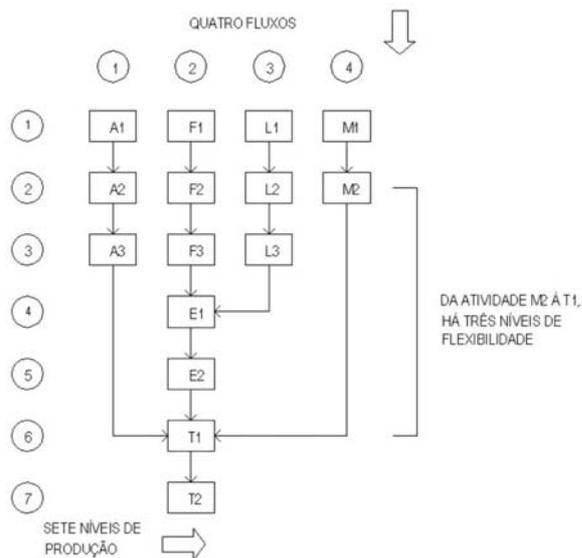


Figura 6: Exemplo hipotético do diagrama adaptado de precedências para o mapeamento dos processos intrínsecos e constantes (SAN, MARTIN, 1999)

Deve-se levar em conta, na confecção do diagrama adaptado de precedências, a importância da determinação das atividades constantes de cada tecnologia de edificação, que serão representadas. Através disso, é preciso identificar um conjunto de fluxos que seja continuamente repetido, configurando um ciclo de produção o qual se repetirá na maior parte do tempo na aplicação do sistema construtivo analisada. Esse conjunto de fluxos de processos é chamado de ciclo básico de produção (CBP), sendo que deve necessariamente representar o mais longo ciclo repetitivo de processos, podendo ser, por exemplo, um pavimento tipo.

### 3.2.4 Os indicadores de desempenho

Os indicadores que medem o desempenho de sistemas construtivos sob a visão da gestão dos processos de produção foram elaborados pelo autor, que relacionou as características da qualidade consideradas com os requisitos de desempenho elaborados, os quais estão listados no quadro 8 a seguir, sendo descritos posteriormente.

<b>Indicadores de desempenho</b>	
1.	Indicador da eficiência do desenho dos processos (EDP)
2.	Indicador de flexibilidade de robustez (IFR)
3.	Grau de interdependência de processos (GIP)
4.	Grau de habilidade exigido da mão-de-obra (GHMO)
5.	Grau de dependência por materiais específicos (GDM)
6.	Indicador de variedade de materiais (IVM)
7.	Grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos (GPAE)
8.	Grau de padronização de operações (GPO)
9.	Grau de separação física de processos (GSP)
10.	Peso dos elementos construtivos (PEC)

Quadro 8: Indicadores de desempenho (SAN, MARTIN, 1999)

O autor salienta que, para alguns indicadores não foi possível desenvolver uma verificação sistêmica com relação ao atendimento dos requisitos de desempenho, de modo que os mesmos fossem analisados de forma conjunta, sendo assim interpretados qualitativamente, ocorrendo em quatro indicadores de desempenho. Por outro lado, os outros indicadores são passíveis de quantificar suas variáveis, possibilitando um resultado numérico.

No quadro 9, são apresentadas as relações entre o atendimento dos requisitos de desempenho e a medição para cada indicador. Os indicadores que estão representados entre parênteses indicam a existência de uma relação indireta com o respectivo requisito, auxiliando na medição do atendimento desse último.

<b>Características da qualidade considerada</b>	<b>Requisitos de desempenho correspondentes</b>	<b>Indicadores para medição</b>
Mão-de-obra polivalente Menor habilidade exigida da mão-de-obra	Possibilitar um nível mais baixo e homogêneo de habilidade exigida pelas operações intrínsecas	→ GHMO
Condições ergonômicas de trabalho	Utilizar elementos construtivos leves	→ PEC
Formação de parcerias	Possibilitar o fornecimento freqüentes de recursos por um número menor de fornecedores	→ (IVM)
Tecnologia com sistema fechado de produção Utilização dos mesmos materiais básicos	Utilizar menor número de materiais diferentes	→ IVM

Quadro 9: As relações entre os indicadores e os requisitos de desempenho (SAN MARTIN, 1999)

Adaptabilidade em diferentes regiões	Não depender de fornecedores específicos de uma dada região Não depender de materiais específicos de uma dada região	→ GDM → GDM
Redução das atividades que não agregam valor	Empregar elementos com maior valor agregado	→ GPAE, EDP
Simplificação	Padronizar componentes e métodos de trabalho	→ GPAE, GPO
Aumento da transparência	Tornar processos mais independentes uns dos outros Reduzir o número de etapas em obra Separar processos em unidades de produção focalizadas	→ GIP, (EDP) → GPAE → GSP, EDP
Redução do tempo de ciclo	Reduzir o número de processos em série	→ EDP, GIP
Flexibilidade de robustez	Possibilitar maior flexibilidade de fluxos de processos Possibilitar maior flexibilidade de fluxos de trabalho	→ IFR → IFR

Quadro 9: As relações entre os indicadores e os requisitos de desempenho (SAN MARTIN, 1999)  
(continuação)

### 3.2.4.1 Indicador da eficiência do desenho dos processos (EDP)

Esse indicador baseia-se na análise do mapeamento dos processos com o diagrama adaptado de precedências e representa uma medida quantitativa, que relaciona o número de diferentes atividades intrínsecas e constantes de cada nível de produção, com o número de níveis de produção mapeados, de acordo com a descrição realizada em 3.2.3. O primeiro representa o número de diferentes atividades que podem ser realizadas simultaneamente dentro de um fluxo de produção. A expressão matemática para esse indicador é a seguinte:

$$EDP = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{n \text{ de atividades do nível de produção } i} \right)}{n}$$

Fórmula 2: Eficiência do desenho dos processos

Onde:

EDP = valor do indicador de eficiência do desenho dos processos;

n = número total de níveis de produção do ciclo básico de produção (CBP).

Um valor de EDP próximo a um significa representar que há um número elevado de fluxos simultâneos no mapeamento realizado, e um valor próximo a zero significa que há poucos fluxos ocorrendo de forma simultâneos. Um desenho dos processos intrínsecos e constantes de produção de um sistema construtivo com uma configuração longa e estreita, envolvendo grandes cadeias de precedência e poucos fluxos simultâneos, ou uma configuração curta e larga, envolvendo pequenas cadeias de precedências e diversos fluxos simultâneos, podem ser determinados por esse indicador.

Esse indicador tem relação direta com a medição do cumprimento dos seguintes requisitos, de acordo com o quadro 9: (a) empregar elementos com maior valor agregado; (b) separar processos em

unidades de produção focalizadas; e (c) reduz o número de processos em série. Além disso, relaciona-se indiretamente com a medição do requisito de tornar os processos mais independentes uns dos outros, o que envolve quatro características da qualidade: redução das atividades que não agregam valor, simplificação, aumento da transparência e a redução do tempo de ciclo.

Portanto, quanto mais curto e mais largo o desenho dos processos, envolvendo maior número de fluxos simultâneos dependentes, maior será a propensão a uma gestão de processos mais eficiente. Um número de EDP próximo a zero conota uma baixa eficiência do desenho dos processos e uma maior dificuldade inerente da tecnologia avaliada para atingir os requisitos. Um valor próximo de um, infere que a tecnologia avaliada possui uma maior eficiência do desenho dos processos, segundo esses mesmos requisitos e um melhor alcance dos mesmos.

#### 3.2.4.2 Indicador de flexibilidade de robustez (IFR)

Para a aplicação desse indicador, deve-se partir da análise do mapeamento realizado com o diagrama adaptado de precedências. Esse indicador mede quantitativamente o número total de vezes que as atividades mapeadas podem se alternar entre os níveis de produção ao longo dos fluxos mapeados sem que se altere o número total de níveis de produção do ciclo básico de produção (CBP). Essa alternância das atividades em diferentes níveis de produção devem manter as relações de precedências mapeadas de modo que as mesmas continuem sendo consideradas. Assim, quantifica-se ao longo de cada fluxo de processos (colunas) de forma individual e, posteriormente, somar os quantitativos. A figura 6 apresenta um exemplo, mostrando que as atividades M1 e M2 podem ser alternadas em três níveis de produção diferentes, sem que se aumente o número total de níveis mapeados. A relação matemática para a quantificação desse indicador é expressa abaixo:

$$FR = 1 - \frac{n}{1 + NPA}$$

Fórmula 3: Indicador de flexibilidade de robustez

Onde:

FR = valor do indicador de flexibilidade de robustez;

n = número total de níveis de produção do ciclo básico de produção (CBP);

NPA = somatório do número de possibilidades de alternância das atividades de cada fluxo entre diferentes níveis de produção sem o aumento final de n.

O indicador tem como objetivo principal em admitir alterações no seqüenciamento das atividades dentro do ciclo básico de produção, sem que ocorra o aumento dos níveis de produção e que não haja o desrespeito das precedências das atividades. Esse indicador sinaliza o desempenho intrínseco à tecnologia, em situações de atrasos na produção, por razões diversas, baseado na preservação do número total de etapas da construção, ou seja, na possibilidade de manter o tempo total de ciclo inalterado.

Diante disso, o quadro 9 apresenta a relação desse indicador com os requisitos, os quais regem que a tecnologia deve oferecer maior flexibilidade de fluxos de processos e de possibilitar maior flexibilidade de frentes de trabalho. Assim, um valor próximo de um indica que o sistema construtivo avaliado tem a característica da qualidade de flexibilidade de robustez na gestão de processos e capacidade de absorver variabilidades causadas por fatores internos e externos.

#### 3.2.4.3 Grau de interdependência de processos (GIP)

Esse indicador estabelece uma relação direta entre o número total de atividades dos fluxos de processos intrínsecos e constantes e o número total de dependências estabelecidas pela tecnologia. Para quantificar esse indicador, deve-se levar em conta o mapeamento do ciclo básico de produção com o diagrama adaptado de precedências. A expressão matemática para esse indicador é a seguinte:

$$\text{GIP} = \frac{\text{NTA}}{\text{NTD}}$$

Fórmula 4: Grau de interdependência de processos

Onde:

GIP = valor do grau de interdependência dos processos;

NTD = quantidade total de dependências no mapeamento do CBP;

NTA = quantidade total de atividades de todos os fluxos no mapeamento do CBP.

Um valor de GIP próximo a um mostra que a tecnologia avaliada possui um menor número de dependências em relação ao número total de atividades. Já um valor de GIP próximo a zero mostra a condição inversa. Vale lembrar que a medição desse indicador está limitado a analisar apenas as interdependências de processos, sendo consideradas somente as dependências internas do sistema de produção, do ponto de vista dos processos intrínsecos e constantes da tecnologia. Assim, de acordo com o quadro 9, o indicador atende apenas o alcance do requisito de tornar os processo mais

independentes uns dos outros, sendo que a verificação das características de simplificação e transparência são auxiliadas por esse indicador.

#### 3.2.4.4 Grau de habilidade exigido da mão-de-obra (GHMO)

Ao contrário dos primeiros indicadores apresentados, o grau de habilidade exigido da mão-de-obra é determinado qualitativamente, através da classificação das operações dos fluxos de operários que necessariamente acompanham os processos intrínsecos e constantes do ciclo básico de produção da tecnologia avaliada.

A classificação é realizada a partir de cinco níveis crescentes de complexidade das funções dos operários:

- a) transporte: nível mais simples, que exige habilidades físicas e motoras não refinadas do operário;
- b) locação: exige noções espaciais, de localização e de eventuais verificações com o uso de ferramentas;
- c) conformação: exige noções de localização e de habilidades motoras mais específicas para a função desempenhada;
- d) ajuste: exige noções de locação, conformação e de entendimento das funções da tarefa realizada de forma global, visando a harmonização dos materiais processados;
- e) acabamento: nível mais complexo, que exige habilidades de ajuste, o domínio da técnica e o conhecimento das propriedades dos materiais utilizados.

Para a aplicação desse indicador, deve-se realizar o levantamento e a análise de registros fotográficos e de filmagens a fim de se quantificar, de forma isolada, todas as operações do fluxo de operários de cada um dos níveis de habilidade descritos. No caso de tecnologias, que estão sendo concebidas, deve-se quantificar essas operações através da avaliação dos processos intrínsecos, considerando o ciclo básico de produção. O resultado do indicador é constituído por cinco somatórios correspondentes a cada um desses níveis de complexidade de operações definidos, sendo que o resultado final da análise de sua utilização é feito de forma qualitativa.

Com relação ao cumprimento dos requisitos de desempenho, o indicador pode ser utilizado para avaliar a possibilidade de se ter um nível mais baixo e homogêneo de habilidade exigida pelas operações intrínsecas, conforme mostra o quadro 9. Desse modo, a maioria das operações intrínsecas à

tecnologia devem estar concentradas nas operações de níveis mais baixos de habilidades exigidas. Portanto, facilita-se o treinamento de operários polivalentes, uma vez que os processos de treinamento poderão ser mais curtos.

#### 3.2.4.5 Grau de dependência por materiais específicos (GDM)

Esse indicador tem como objetivo avaliar a capacidade de adaptação da tecnologia analisada em diferentes regiões, prescindindo de fornecedores específicos e de materiais específicos. É um indicador qualitativo baseado na identificação de insumos materiais essenciais para o desempenho dos fluxos de processos mapeados e na relevância financeira dos mesmos. Seu resultado é uma lista de diferentes insumos, sendo que, quanto mais extensa, maior é a tendência da tecnologia de depender de materiais específicos e mais dificilmente se adaptará a uma diferente região que não dispõe desses insumos.

Os insumos devem compreender apenas materiais que são insubstituíveis por motivos técnicos, inerentes à tecnologia avaliada e que são utilizados em atividades críticas do mapeamento realizado do ciclo básico de produção. Essas atividades são aquelas que são definidas como atividades de relação de dependência com as demais, as quais podem provocar um atraso global de todos os fluxos subseqüentes, aumentando o tempo de ciclo. Além disso, quanto mais caro o insumo, menos freqüente será a sua compra e menor será a viabilidade de formação de estoques de segurança. Assim, os insumos materiais considerados na medição do grau de dependência por materiais específicos são aqueles que, se faltarem na obra, atrasam os processos, não permitem a viabilização de estoques de segurança, são inerentes à tecnologia analisada e conotam uma dependência da tecnologia pelo seu consumo regular junto a fornecedores de uma dada região.

Para a determinação dos materiais que possuem importância financeira relevante, deve-se considerar uma utilização da tecnologia na realização de um ciclo completo dos processos do ciclo básico de produção, identificando os insumos mais caros utilizados. Essa identificação é feita através da cotação unitária dos preços dos materiais utilizados em diferentes regiões e a consideração das quantidades utilizadas, conforme um projeto padrão de edificação. Realiza-se, então, um orçamento técnico descritivo da execução do ciclo básico de produção. Em seguida, deve-se listar os materiais mais caros, considerando o custo unitário e a quantidade utilizada para cada um dos insumos materiais envolvidos no ciclo básico de produção.

Por fim, classificam-se os insumos financeiramente relevantes e seleciona-se aqueles que são insubstituíveis devido às restrições técnicas da tecnologia de edificação avaliada. Verifica-se se esses materiais são utilizados nas atividades críticas do mapeamento do ciclo básico de produção com o

diagrama adaptado de processos. O resultado final dessa seleção e dessa verificação é, desse modo, a lista de materiais críticos exigidos pela tecnologia avaliada. Assim, se a lista for extensa, significa que há um maior número de insumos materiais requeridos que são caros, que não podem faltar na obra e que não podem ser substituídos. A combinação desses fatores deixa a tecnologia vulnerável a incertezas quanto ao suprimento desses materiais e, portanto, mais dependente do mercado fornecedor.

#### 3.2.4.6 Indicador de variedade de materiais (IVM)

O indicador é medido através da análise do mapeamento realizado com o diagrama adaptado de precedências do ciclo básico de produção e da listagem dos diferentes insumos materiais requeridos pela tecnologia utilizada ao longo desse mesmo ciclo. Deve-se, então, quantificar o número total de diferentes insumos materiais requeridos e quantificar o número total de atividades dos processos contidos no mapeamento do ciclo básico de produção. O resultado mostra que valores altos de IVM representa que há poucos materiais diferentes mapeados no ciclo básico de produção. Os valores próximos a zero, por outro lado, indicam que há muitos. A expressão matemática a seguir relacionará esses quantitativos.

$$\text{IVM} = \frac{\text{NTA}}{\text{NTM}}$$

Fórmula 5: Indicador de variedade de materiais

Onde:

IVM = valor do indicador de variedade de materiais;

NTA = quantidade total de atividades de todos os fluxos no mapeamento do CBP;

NTM = quantidade total de diferentes materiais requeridos pela tecnologia em seu CBP.

Conforme apresentado no quadro 9, o indicador relaciona-se diretamente com a medição do atendimento do requisito de utilizar menor número de materiais diferentes e, de forma indireta, com a medição do cumprimento dos requisitos em possibilitar o fornecimento freqüente de recursos por um número menor de fornecedores e de entregar elementos com maior valor agregado.

Através disso, pode-se dizer que a maior ou menor complexidade de gerenciamento de materiais é conseqüência, em parte, do número de diferentes insumos materiais que são requeridos pela tecnologia avaliada. Portanto, quanto maior for esse número, mais complexo tende a ser o

gerenciamento dos suprimentos, e, em consequência, maior será a suscetibilidade do sistema sofrer perdas por atraso de materiais.

#### 3.2.4.7 Grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos (GPAE)

Esse indicador propõe uma avaliação qualitativa dos elementos construtivos em níveis crescentes de uniformidade dos elementos e de aglutinação de etapas de produção que esses possibilitam. Quanto maior o número de elementos construtivos classificados em um nível de uniformidade e aglutinação de etapas, maior será o grau de padronização e agregação de valor da tecnologia.

Para fins de avaliação qualitativa, são considerados três níveis diferentes de classificação dos elementos construtivos das tecnologias avaliadas, com relação ao grau de aglutinação de etapas de uniformidade dos mesmos. Tais níveis são os seguintes:

Nível 1: elementos construtivos que não aglutinam etapas em relação a tecnologias de edificação tradicionais e que não precisam ser necessariamente uniformes. Exemplos: blocos cerâmicos de diferentes tamanhos, lajes, pilares e vigas confeccionados em concreto armado, com sistema de formas e de tamanhos variados;

Nível 2: elementos construtivos que aglutinam mais de uma etapa em relação a tecnologias de edificação tradicionais e que não precisam ser necessariamente uniformes. Exemplos: vigas, lajes, pingadeiras pré-moldadas em concreto armado de diferentes tamanhos, argamassas pré-misturadas de tipos variados e kits elétricos ou hidráulicos de tamanhos variados;

Nível 3: elementos construtivos que aglutinam mais de uma etapa em relação a tecnologias de edificação tradicionais e que necessariamente têm dimensões pré-determinadas. Exemplos: lajes, vigas ou pilares pré-moldados em concreto armado, de tamanho único, portas prontas, de dimensões constantes, painéis pré-moldados de paredes em tamanhos constantes e painéis de revestimento em tamanhos constantes.

Portanto, quanto maior o grau de padronização e agregação de valor dos elementos construtivos empregados pela tecnologia avaliada, maior será o atendimento dos requisitos de padronizar componentes e métodos de trabalho, de empregar elementos com maior valor agregado e de reduzir o número de etapas da obra, como consta no quadro 9. Logo, um número maior de elementos construtivos da tecnologia de edificação analisada classificados no nível 3, determina um maior atendimento desses requisitos.

### 3.2.4.8 Grau de padronização de operações (GPO)

Esse indicador é medido através da análise das atividades dos operários. As mesmas são compostas pelas operações que acompanham os processos intrínsecos e constantes da tecnologia de edificação avaliada. Para quantificar, deve-se buscar o número total das operações que são realizadas mais de uma vez e relacioná-lo ao número total de operações exigidas no ciclo básico de produção da tecnologia. A expressão matemática que sustenta esse aspecto é a seguinte:

$$\text{GPO} = \frac{\text{NOR}}{\text{NTO}}$$

Fórmula 6: Grau de padronização de operações

Onde:

GPO = grau de padronização de operações;

NOR = número total de atividades dos operários exigidas pelos processos intrínsecos e constantes do CBP que se repetem;

NTO = número total de atividades dos operários exigidas pelos processos intrínsecos e constantes do CBP.

Os valores obtidos variam de zero a um, sendo que valores próximos a um indicam uma incidência maior de repetições de atividades dos operários. Quanto maior essa incidência de repetições, maior será o grau de padronização de operações estabelecido de forma intrínseca pela tecnologia avaliada. Conforme o quadro 9, esse indicador mede de forma direta, juntamente com o grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos da tecnologia avaliada, o requisito de padronizar componentes e métodos de trabalho.

### 3.2.4.9 Grau de separação física de processos (GSP)

Esse indicador estabelece uma relação entre a quantidade total de atividades de fluxos e conversão dos processos do ciclo básico de produção e a quantidade dessas atividades que podem ser realizadas fora ou distante do local final de conformação do elemento ou subelemento produzido por cada um dos fluxos de processos mapeados. A expressão matemática dessa relação é dada pela fórmula:

$$\text{GSP} = \frac{\text{NAS}}{\text{NTA}}$$

Fórmula 7: Grau de separação dos processos

Onde:

GSP = valor do indicador do grau de separação física de processos;

NAS = quantidade de atividades de todos os fluxos no mapeamento do CBP que pode ser realizada distantes do local final de conformação do elemento ou subelemento;

NTA = quantidade total de atividades de todos os fluxos no mapeamento do CBP;

Os valores próximos a um indicam que grande parte dos processos intrínsecos e constantes do ciclo básico de produção podem ser realizados separadamente do canteiro de obras ou em locais variados, dentro do layout do mesmo. De acordo com o quadro 9, esse indicador pode ser utilizado, juntamente com o indicador de eficiência do desenho dos processos, para medir o atendimento do requisito de separar processos em unidades de produção focalizadas, contribuindo para o aumento da transparência e da simplificação.

#### 3.2.4.10 Peso dos elementos construtivos (PEC)

Esse indicador relaciona-se com as condições ergonômicas de trabalho, o qual mede, de forma qualitativa, o atendimento do requisito de utilizar elementos construtivos mais leves, de acordo com a relação apresentada no quadro 9. O indicador propõe a medição ou estimativa do peso de elementos construtivos utilizados pelas tecnologias de edificação, os quais devem ser aqueles utilizados ao longo do ciclo básico de produção. A medição é efetuada em cima dos dados obtidos de peso dos elementos, sendo que, quanto maiores forem esses valores, pior será o atendimento do requisito relacionado.

Os critérios de classificação dos valores de pesos dos elementos construtivos podem ser estabelecidos pelo aplicador do indicador. Deve-se considerar a disponibilidade e a utilização de equipamentos adequados de transporte e manuseio desses elementos, que podem ser usados pela tecnologia, que, em geral, anulam as complicações ergonômicas do peso, porém não interferem no aspecto da segurança, permanecendo essa última numa situação pior que na utilização de elementos mais leves.

#### 3.2.5 Roteiro para aplicação do método

Para aplicação do método de avaliação de sistemas construtivos deve-se seguir o seguinte roteiro:

- a) definir as prioridades competitivas em operações;
- b) realizar uma entrevista inicial com o especialista que concebeu ou que administra o uso da tecnologia de edificação a ser avaliada. Essa entrevista envolve a coleta de

informações gerais sobre as principais características da tecnologia e identificação do ciclo básico de produção. No apêndice 1 é apresentado um modelo dessa entrevista;

- c) aplicar a tabela P1 de listagem dos serviços da tecnologia, apresentada no apêndice 2, que organiza algumas das informações obtidas da entrevista inicial realizada. Essas informações são sobre as principais cadeias de processos relacionados aos principais elementos e etapas identificadas na entrevista inicial. Os campos da tabela são o código do serviço, descrição do subproduto derivado, principais atividades envolvidas e observações;
- d) determinar os fluxos de processo do ciclo básico de produção através da análise da tabela P1 e da entrevista inicial;
- e) aplicar a tabela P2, apresentada no apêndice 2, para a análise específica de cada um dos fluxos de processos das cadeias listadas na tabela P1 ou de cada atividade desses fluxos de processos. Essa tabela constitui-se pelos campos de código da atividade ou processo, descrição da atividade ou processo, local de execução (separado ou não do local de conformação final do subelemento produzido), código das atividades ou processos precedentes (obedecendo aos critérios de precedência do diagrama adaptados de precedências), código das atividades ou processos subseqüentes, descrição das operações diretamente envolvidas e código das fotografias relacionadas. Deve-se considerar na aplicação dessa tabela os seguintes casos:
  - no caso da tecnologia de edificação já estar sendo utilizada: a análise da tabela P1, a observação dos processos no canteiro, o registro de imagens (fotografias e filmagens) dos processos e operações e entrevistas informais com os operários para o esclarecimento de detalhes das técnicas construtivas aplicadas;
  - no caso da tecnologia de edificação não estar sendo utilizada ou em fase de concepção: a análise da tabela P1, da entrevista inicial com o especialista e de entrevistas com o encarregados pelo desenvolvimento ou aplicação da tecnologia, de forma a prever as técnicas construtivas e as operações específicas da tecnologia.
- f) mapear todos os processos ou atividades de processos (conforme o grau de detalhamento da avaliação) do ciclo básico da tecnologia analisada com o diagrama adaptado de processos;
- g) aplicar a tabela P3, apresentada no capítulo 6, que resume todos os quantitativos que devem ser determinados pela análise direta do mapeamento com esse diagrama;
- h) calcular os indicadores EDP, IFR, GIP com os dados da tabela P3;

- i) aplicar o indicador GDM, determinando a listagem dos materiais críticos utilizados no ciclo básico de produção através da realização de orçamento hipotético e da análise da entrevista inicial e do mapeamento realizado com o diagrama adaptado;
- j) aplicar o indicador GHMO através da análise da tabela P2, quantificando e classificando as habilidades exigidas, conforme a classificação apresentada anteriormente;
- k) calcular os indicadores GSP e GPO através da análise da tabela P2 e dos dados da tabela P3;
- l) aplicar a tabela P4, apresentada no apêndice 2, que lista todos os diferentes materiais utilizados no ciclo básico de produção, analisar a tabela P3 e calcular o indicador IVM;
- m) analisar a entrevista inicial, a tabela P1, a tabela P2 e aplicar o indicador GPAE, quantificando os elementos de cada um dos níveis apresentados e utilizados pela tecnologia;
- n) aplicar a tabela P5, apresentada no capítulo 6, que resume todos os dados obtidos com a aplicação dos indicadores;

### 3.2.6 A interpretação dos resultados dos indicadores

Para a interpretação dos resultados obtidos dos indicadores, deve-se seguir a finalidade de cada característica da qualidade correspondente a cada requisito e indicador, tendo o quadro 9 como suporte. Deve-se levar em conta, também, que o grau de medição de cada indicador do cumprimento dos requisitos relacionados dependem das considerações de outras condicionantes específicas de cada empresa, tais como a tipologia da edificação que deve ser construída ou mesmo o projeto padrão delas.

## 4 MÉTODO E FASES DA PESQUISA

O presente capítulo apresenta as estratégias de coleta de dados utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. A figura 7 a seguir mostra, de uma forma esquemática, as fases da pesquisa e, posteriormente, descreve-se essas etapas mostrando como foi conduzido todo o trabalho.

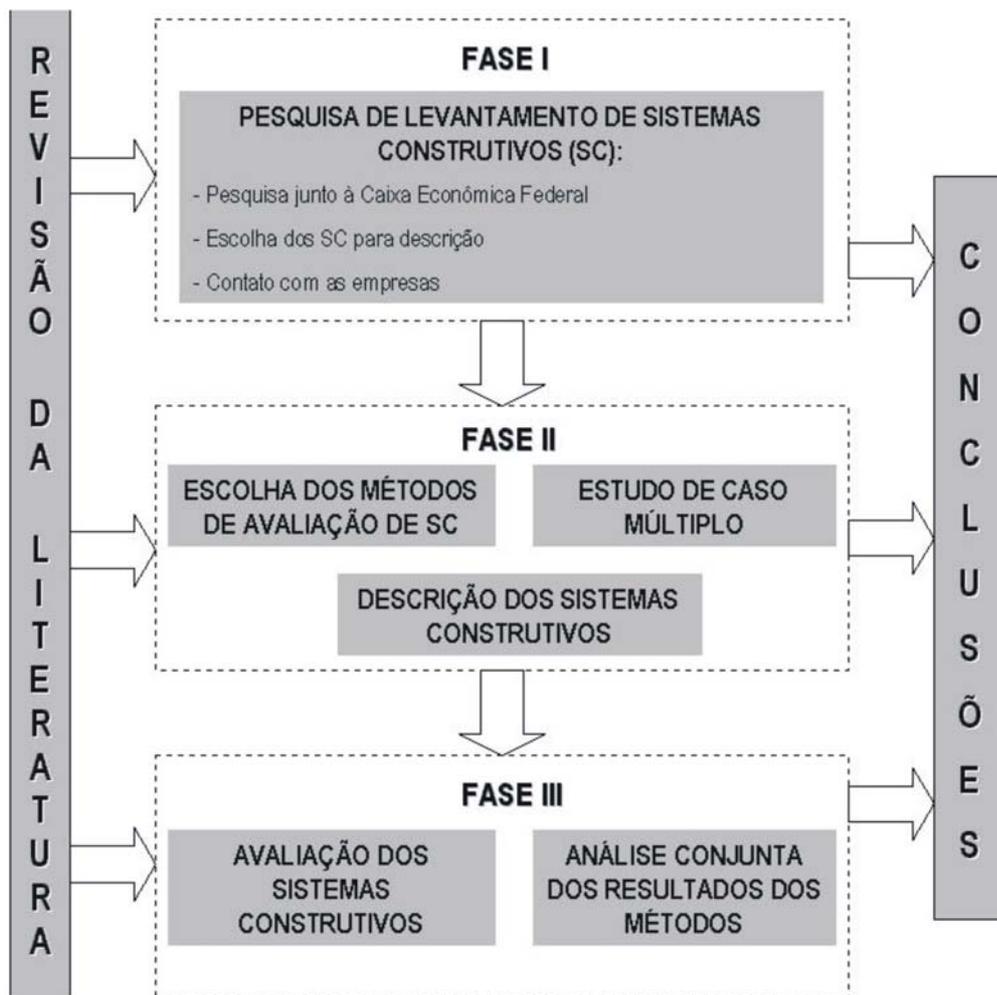


Figura 7: Fluxograma de pesquisa

### 4.1 AS FASES DA PESQUISA

A pesquisa dividiu-se em fases três distintas, sendo que a primeira engloba o levantamento dos sistemas construtivos inovadores junto à Caixa Econômica Federal, bem como a escolha e o contato com as empresas. A segunda fase, por sua vez, compreende o estudo de caso múltiplo, a descrição das tecnologias selecionadas e a escolha das sistemáticas de avaliação de sistemas construtivos com o auxílio da revisão de literatura. Por fim, na terceira fase realiza-se a avaliação, fazendo as

considerações de cada método, além de discutir os resultados das mesmas, para posteriormente realizar o cruzamento dos requisitos de desempenho de cada método de avaliação. As conclusões são feitas acerca dos resultados das análises das avaliações, discutindo os objetivos e questões da pesquisa.

O início das atividades partiu de uma revisão da literatura, visando a escolha do tema de pesquisa. Essa fase auxiliou para encontrar e formular as questões da pesquisa já citadas no capítulo 1, e na decisão do seu foco, que é a investigação da eficiência dos sistemas construtivos para habitações de interesse social, no que tange o processo de produção das edificações. Além disso, a revisão da literatura se faz presente em todas as suas fases, quer seja na contextualização do problema, quer no fornecimento de conceitos importantes, ou, ainda, auxiliando na escolha da forma mais adequada para avaliar os sistemas construtivos, bem como no auxílio relativo às contribuições finais da pesquisa.

#### 4.1.1 Fase I – a pesquisa de levantamento

A pesquisa de levantamento caracteriza-se, principalmente, pelo contato e interrogação direta das pessoas as quais se deseja investigar. As informações são obtidas através de uma amostra significativa acerca do problema estudado, para que, depois, sejam realizadas as devidas conclusões a partir dos dados coletados através de análise quantitativa (GIL, 1994). Além disso, na pesquisa de levantamento, as questões do tipo “quem” ou “onde”, ou ainda as derivadas “quantos” e “quanto” contribuem para a estratégia de levantamento de dados ou para uma análise documental (YIN, 2001).

Com o intuito de escolher os sistemas construtivos inovadores existentes na região metropolitana de Porto Alegre, fez-se contatos com a Caixa Econômica Federal (CEF), a qual dispõe uma relação de 12 (doze) sistemas construtivos não-convencionais homologados tecnicamente, tanto para habitações isoladas como para grandes empreendimentos, oferecendo diversas opções de financiamento. Porém, o principal critério da seleção dos sistemas construtivos para avaliação foi a proximidade das empresas da região metropolitana, devido ao grande déficit habitacional existente nesta, como foi mencionado no capítulo 1. Dessa forma, pode-se apresentar tecnologias em potencial para a produção de novas moradias. Além disso, buscou-se, também, a proximidade das mesmas do pesquisador, de modo a evitar viagens e longas estadias, devido aos recursos financeiros limitados do mesmo. Sendo assim, optou-se por escolher 7 (sete) sistemas construtivos, com diferentes características entre si e um oitavo que ainda não foi aprovado pela CEF, mas com possibilidade de financiamento dos materiais. Após, entrou-se em contato com as empresas para investigar as tecnologias. As escolhidas estão relacionadas a seguir, no quadro 10, apresentando seu nome e sua principal característica.

SISTEMA CONSTRUTIVO	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL
BP	Pilares em concreto e placas de argamassa com raspas de borracha
CE	Painéis em concreto armado
CF	Paredes em PVC preenchidas com concreto
GFH	Painéis em fibra de vidro e madeira
MOA	Pilares e placas em concreto
QH	Painéis em chapa de aço e madeira
RB	Paredes em PVC preenchidas com concreto
ST	Estrutura modular em aço e paredes em alvenaria convencional

Quadro 10: Relação dos sistemas construtivos com características básicas.

#### 4.1.2 Fase II – o estudo de caso múltiplo

Antes de partir a campo, foi necessário a escolha dos métodos de avaliação de sistemas construtivos, baseando-se na revisão da literatura. Essa escolha foi de grande importância pelo fato de auxiliar na decisão da estrutura de detalhamento das tecnologias, sendo que a mesma segue o roteiro de cada sistemática.

Dessa forma, os métodos de avaliação de sistemas construtivos escolhidos buscam avalia-los a sob dois pontos de vista: a industrialização na construção de habitações e a gestão dos processos de produção. São formas diferentes de avaliação, possuindo requisitos de desempenho distintos, porém passíveis de uma discussão conjunta.

O método de avaliação de sistemas construtivos, sob o ponto de vista da industrialização na construção foi desenvolvido por Duarte (1982). Tal método procura determinar o estágio da industrialização de habitações. Por outro lado, as tecnologias selecionadas são avaliadas sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção, desenvolvida por San Martin (1999), o qual propõe indicadores de desempenho quantitativos e qualitativos. O método determina, assim, qual sistema construtivo possui melhor eficiência nos processos de produção, de acordo com requisitos de desempenho previamente elaborados. Tais sistemáticas de avaliação estão detalhadas no capítulo anterior.

Após a seleção das tecnologias inovadoras e do contato com as empresas, além de determinar os métodos de avaliação e a estrutura da descrição das tecnologias, decidiu-se por realizar um estudo de caso, pelo surgimento de questões do tipo “como” e “por quê”. Essa estratégia foi escolhida pelo fato de que se pode examinar acontecimentos contemporâneos relacionados com a pesquisa, sem manipular comportamentos relevantes (YIN, 2001).

Em contrapartida, pelas várias alternativas de tecnologias inovadoras homologadas pela CEF, decidiu-se realizar, então, um estudo de caso múltiplo por apresentar resultados considerados mais

convincentes e um estudo global mais sólido dentro do âmbito da avaliação de sistemas construtivos. Além disso, deve-se considerar que o estudo de caso múltiplo deve possuir uma lógica de replicação semelhante aos experimentos múltiplos, mas sem seguir a lógica de amostragem (YIN, 2001).

Visando a preparação para a coleta de dados, buscou-se elaborar um programa de coleta de evidências. Tais fontes dizem respeito a entrevistas realizadas com os responsáveis técnicos, pesquisas em documentos e observações diretas.

A pesquisa em documentos tem como objetivo principal a colaboração e valorização das evidências coletadas de outras fontes (YIN, 2001). Desse modo, buscou-se direcionar a investigação na busca da lista de sistemas construtivos inovadores homologados pela CEF, pois, através dessa instituição, foi possível a escolha de quais tecnologias seriam investigadas. Além disso, houve, também, um contato com os responsáveis técnicos das empresas e, junto às mesmas, foi possível obter informações importantes para análise de projetos arquitetônicos e complementares, bem como detalhamentos de montagem e catálogos fornecidos pelas empresas, mostrando como se constituem os sistemas construtivos.

As entrevistas, por sua vez, são consideradas umas das mais importantes fontes de informação para um estudo de caso, podendo ser conduzidas sob três formas: a espontânea, de levantamento e focal. A primeira permite que a indagação ao respondente-chave sobre acontecimentos faz com que ele apresente suas próprias interpretações. Já a segunda exige uma elaboração de questões mais estruturadas, configurando, assim, um levantamento formal e considerada como parte de um estudo de caso (YIN, 2001).

Nesse contexto, as entrevistas foram conduzidas pela forma focal por terem um caráter informal, durando curto período de tempo (máximo de uma hora) e realizadas através de um roteiro de perguntas pré-elaboradas (YIN, 2001). A elaboração da entrevista partiu de contatos feitos com as empresas, tendo como foco principal os responsáveis técnicos e o conhecimento das tecnologias oferecidas. As informações investigadas partiram de um questionário com perguntas abertas feitas pelo pesquisador, baseadas na literatura previamente pesquisada, e realizando o registro através de anotações e, principalmente, de gravações em fita, do tipo cassete, para posterior transcrição.

O conteúdo do questionário inicia-se com informações gerais, tais como: nome do sistema construtivo, nome do responsável técnico e quando começou a ser aplicada a tecnologia. Num segundo momento, o questionário enfoca a descrição do sistema construtivo, questionando a modulação, características específicas dos métodos de avaliação e a descrição propriamente dita das tecnologias, ou seja, como

se constitui cada subsistema (fundações, estrutura, envelope, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, piso, cobertura e revestimento). Após, apresentam-se questões sobre trabalhos em fábrica e em canteiro de obras, sendo que as primeiras investigam quais os componentes são fabricados, o tempo necessário para a confecção desses, os equipamentos utilizados, dentre outras. As segundas averiguam como é realizada a construção e/ou montagem da edificação, o tempo necessário para a conclusão dos serviços, dentre outros aspectos. O modelo completo da entrevista consta no apêndice 1.

Por fim, para a elucidação dos casos, foi de necessária importância a visita às fábricas de componentes das empresas e a empreendimentos, de preferência, em execução, configurando assim a última fonte de evidências do estudo de caso múltiplo: a observação direta. Essa pode variar em atividades formais e informais de coleta de dados, sendo que na primeira pode-se desenvolver um roteiro de observações e avaliar a incidência de comportamentos durante um período de tempo. Já nas atividades informais faz-se observações diretas durante as visitas, incluindo momento de coleta de outro tipo de evidência, como por exemplo as entrevistas (YIN, 2001). Sendo assim, os casos analisados pela observação direta tiveram atividades informais. Por um lado, as evidências eram registradas através de fotos e, por outro, informações adicionais de detalhamento das tecnologias em sua execução surgiam através de dúvidas levantadas pelo pesquisador e esclarecidas pelo responsável técnico no momento do questionamento.

A pesquisa de campo iniciou-se com a visita às fábricas de componentes e, posteriormente, aos empreendimentos das empresas, as quais eram realizadas juntamente com o responsável técnico do sistema construtivo. No caso da QH, não foi possível a visita em obras, pois a mesma não possuía empreendimentos em andamento. Já o MOA tinha obras em outra cidade, dificultando o deslocamento do pesquisador. No caso da GFH, a fábrica estava sofrendo mudança de endereço, não sendo possível a visita por não ter obras em construção no momento da pesquisa. Já a CE, estava com seus operários direcionados para outras funções dentro da fábrica e, além disso, não possuía empreendimentos em andamento. Já a tecnologia ST estava com sua fábrica em espera e com obras em fase de acabamento. Por fim, no caso do sistema construtivo RB, a fábrica dos componentes situa-se no exterior e a empresa, a exemplos anteriores, não possuía obras no momento da investigação.

As informações detalhadas dos sistemas construtivos mencionadas anteriormente foram adquiridas através das entrevistas direcionadas aos responsáveis técnicos e à pesquisa de documentos pertencentes às empresas. Tais documentos caracterizam-se por catálogos de apresentação das tecnologias, fotos, memoriais descritivos, projetos arquitetônicos e complementares, dentre outros.

Em contrapartida, os sistemas construtivos CF e BP estavam com sua produção, tanto na fábrica como no canteiro, em plena atividade e com um grande volume de obras. Assim, foi possível a visita às mesmas, com a possibilidade de uma coleta de dados a partir da observação direta, de entrevistas com atividades informais e pesquisa em documentos.

De posse dos dados coletados nas pesquisas de levantamento e o estudo de caso múltiplo, possibilitou a descrição detalhada dos sistemas construtivos inovadores homologados pela CEF para fins de financiamento. O detalhamento dos sistemas construtivos foi realizado através da divisão em subsistemas funcionais à pesquisa de Duarte (1982), quais sejam: fundações, estrutura, envelope, divisórias, piso, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias e cobertura. Além disso, incluiu-se as atividades de revestimentos e acabamentos para finalizar a descrição das tecnologias. Mostrou-se, também, a produção em fábrica dos componentes da edificação, a construção e/ou montagem em canteiro de obras.

Por outro lado, foi necessário uma divisão mais detalhada, visando realizar o mapeamento completo do ciclo básico de produção de cada tecnologia. Essa divisão compreende a identificação de cada serviço realizado, a descrição de cada subproduto derivado dos serviços, as principais atividades envolvidas, a descrição de cada processo, os processos precedentes, os processos seguintes, as principais operações e o local da produção. O apêndice 2 apresenta um conjunto de tabelas de mapeamento do ciclo básico de produção de um sistema construtivo descrito. Essa forma de detalhamento do ciclo básico de produção foi realizada de acordo com a pesquisa de San Martin (1999).

#### 4.1.3 Fase III - a avaliação dos sistemas construtivos

A partir da descrição dos sistemas construtivos e da escolha dos métodos de avaliação, partiu-se, então, para a aplicação dos mesmos. Ambos possuem um roteiro para a aplicação da coleta dos dados realizadas nos diferentes métodos de pesquisa já descritos anteriormente.

O método de Duarte (1982) apresenta a avaliação através de resultados quantitativos e qualitativos. O primeiro diz respeito ao processo de fabricação dos componentes dos subsistemas funcionais da edificação, mostrando o índice industrial de cada sistema construtivo. O segundo realiza uma discussão da sistematização do produto, classificando os subsistemas em três níveis de avaliação, quais sejam: transformado (ou evoluído), parcialmente transformado (ou parcialmente evoluído) e convencional. Por fim, realiza-se um cruzamento dos resultados, distribuindo-se as tecnologias num diagrama que relaciona as variáveis do processo de fabricação e sistematização do produto.

O método de San Martin (1999) relaciona-se com a avaliação de tecnologias de edificação para habitações de interesse social, através da gestão dos processos de produção, baseando-se essencialmente em aplicação de um sistema de indicadores de desempenho quantitativos e qualitativos. Os mesmos foram construídos a partir de princípios relacionados à Construção Enxuta, a qual está enraizada, principalmente, a conceitos de várias correntes relacionadas à produção, como por exemplo: Just in Time (JIT), total quality control (TQC), produção enxuta, dentre outras. Além disso, o método leva em conta diversos requisitos de desempenho que os sistemas construtivos devem atender para atingir os objetivos relacionados a habitações de interesse social.

A avaliação dos sistemas construtivos é realizada através da discussão das variáveis propostas pelos métodos, apresentando cada resultado isoladamente, confrontando-os entre as tecnologias. Posteriormente, faz-se a ligação dos métodos, numa forma de cruzamento de resultados, identificando as principais características entre eles e analisando os dados obtidos conjuntamente.

Por fim, apresentam-se as conclusões da pesquisa, onde se discute o cumprimento dos objetivos principal e específicos, além de apresentar as respostas das questões de pesquisa. Além disso, realiza-se uma discussão final das principais contribuições alcançadas pela avaliação de sistemas construtivos, sob os pontos de vista da industrialização na construção e da gestão dos processos de produção, e a sugestão para trabalhos futuros.

## 5 A DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

---

O presente capítulo apresenta a descrição detalhada dos sistemas construtivos selecionados junto à Caixa Econômica Federal, para posterior aplicação dos métodos de avaliação. Este detalhamento procura mostrar como é formada cada edificação e os materiais utilizados. Apresenta-se a produção em fábrica, descrevendo quais os componentes produzidos, quais equipamentos são utilizados e a produtividade neste local. Descreve-se, também, os trabalhos em canteiros de obras, mostrando as etapas da execução e montagem dos componentes. Utiliza-se uma estrutura de descrição, dividindo-se a edificação em subsistemas funcionais, quais sejam: fundações, estrutura, envelope, divisórias, piso, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, cobertura, revestimentos e acabamentos.

### 5.1 SISTEMA CONSTRUTIVO MOA

O sistema construtivo constitui-se na produção de casas pré-moldadas de concreto. O processo construtivo se dá pela montagem de fundações (quando possível), pilares, placas, vergas, contravergas, vigas de cintamento, oitões, lajes (quando necessário) e tesouras de madeira para cobertura. Estes componentes são produzidos na fábrica da empresa e transportados para o canteiro de obras.

São utilizados, basicamente, 3 tipos de placas com dimensões de: 55x51 cm, 88x51 cm e 120x51 cm, respectivamente, com 3,1 cm de espessura e os pilares possuem seção padrão de 10x10 cm e 3 m de altura.

#### **Produção em fábrica**

A fabricação dos componentes realiza-se na unidade industrial da empresa. Nesse local são fabricados diversos artefatos de concreto, tais como: tubos para canalizações, galerias, meios-fios, vigas para pontes e em especial os componentes para a casa. Os componentes em concreto são: viga de fundações, pilares, placas, vergas, contravergas, vigas de cintamento superior e oitões. Além disso, são montadas as estruturas em madeira para a cobertura.

Todos os componentes de concreto são moldados em formas metálicas, recebendo o desmoldante antes da concretagem. Após, é executada a concretagem das peças, como o devido adensamento

através de mesas vibratórias, para, posteriormente, serem estocadas em local coberto para a cura e, após alguns dias, proceder a desmoldagem dos componentes.

Os pilares possuem seção do tipo “H” com dimensões padrão de 10x10 cm. Alguns deles recebem, antes da concretagem, os eletrodutos e as caixas de pontos de entrada de energia, tomadas e interruptores, de acordo com o projeto elétrico padrão.

A produção das placas é realizada semelhante aos pilares. As dimensões das mesmas variam: 88x51 cm (placa de fechamento de abertura de portas), 120x51 cm (placa da largura da abertura de janelas), e 55x51 cm (placa de fechamento), com espessuras de 3,1 cm. As placas não possuem nenhum tipo de encaixe entre elas, sendo necessário a aplicação de argamassa para a união das mesmas.

As vigas superiores de amarração, as vergas e contravergas são produzidas como os componentes anteriores. Suas dimensões são de 10x10 cm, sendo moldadas com fendas de encaixe para placas e pilares para melhor fixação à estrutura.

As tesouras, que formarão a estrutura do telhado, são montada em fábrica, cujo trabalho é realizado por um carpinteiro. As telhas para cobertura da edificação são compradas no mercado local e levadas diretamente para a obra.

Para a produção dos componentes da edificação, são utilizados alguns equipamentos. Tais ferramentas facilitam e agilizam a produção, sendo eles: betoneira, padiolas para dosagem de materiais, formas metálicas, mesas vibratórias para adensamento do concreto, ponte rolante para transporte com capacidade de três toneladas, empilhadeira e um caminhão com guincho do tipo “munck” para transporte até a obra.

O sistema construtivo em questão mostra-se eficiente no que diz respeito ao tempo de produção dos componentes em fábrica. Para tal serviço utilizam-se apenas dois operários para a produção de 2,5 casas do projeto padrão (42 m<sup>2</sup>) em uma semana. Portanto, o tempo necessário em fábrica para a pré-fabricação, é de  $t_1 = 1,07$  horas-homem/m<sup>2</sup>.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

Enquanto os componentes são fabricados, uma equipe de três operários prepara o local de montagem, com a realização da limpeza, do nivelamento do terreno e da marcação da obra. O tempo necessário em obra para a execução da edificação é de 10 dias, consumindo  $t_2 = 5,71$  horas-homem/m<sup>2</sup>.

### **Subsistema fundações**

As fundações da edificação são executadas convencionalmente, utilizando fundações diretas em alvenaria de tijolos cerâmicos ou em pedras, procurando-se deixar as esperas para cada pilar da estrutura, como mostra a figura 8.



Figura 8: Fundação direta convencional em alvenaria de tijolos

### **Subsistema estrutura**

A estrutura da edificação caracteriza-se por pilares em concreto armado, com dimensões de 10x10 cm, formando um perfil do tipo “H” para o encaixe posterior das placas. Os mesmos são posicionados de acordo com a modulação das placas, nivelados, prumados e fixados. Concreta-se as bases e executa-se uma viga de baldrame, impermeabilizando-a, posteriormente, como mostra as figura 9.



Figura 9: Execução da estrutura e viga de baldrame

### **Subsistema envelope**

O subsistema envelope caracteriza-se por placas pré-moldadas de concreto, com dimensões de 55x51 cm, 88x51 cm e 120x51 cm e 3,1 cm de espessura. As mesmas são encaixadas nos pilares de concreto configurando as paredes. São executadas, também, as vergas e contravergas de janelas e as vergas das portas, encaixando-as nos painéis. Externamente podem receber a pintura definitiva, visto que as placas possuem aspecto de alvenaria aparente. Internamente pode-se utilizar reboco

convencional ou revestimento em madeira, cerâmica ou papel de parede. A figura 10 mostra a montagem e o aspecto final das paredes externas.



Figura 10: Execução do envelope

### **Subsistema divisórias**

As divisórias internas da edificação são executadas com o mesmo sistema de placas pré-moldadas da mesma espessura das externas ou de alvenaria. Em habitações populares, apenas as divisórias de banheiro com a cozinha e banheiro com a sala são executadas com as placas e o restante são feitas em madeira com espessura do próprio material, visando a diminuição dos custos.

### **Subsistema piso**

A preparação para a execução do piso da edificação é feita através de aterro das fundações e compactação do solo, nivelção e concretagem do contrapiso, dando o acabamento final com cimento alisado. A espessura desse é de aproximadamente sete cm, que poderá receber qualquer tipo de acabamento final, por exemplo: parque, piso cerâmico, piso vinílico, etc.

### **Subsistema instalações elétricas**

A entrada de energia é subterrânea, por meio de uma tubulação embutida a 35 cm da base do pilar. As instalações elétricas internas são, também, embutidas nos pilares, fixada na armadura antes da concretagem dos mesmos em fábrica, e executada na obra apenas a fiação interna. A figura 11 mostra os pilares em estoque.



Figura 11: Pilares com eletrodutos embutidos

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

As instalações são semi-arentes, sendo executadas convencionalmente, em conjunto com as fundações e piso. As canalizações de água fria são fixadas nas placas de concreto com auxílio de abraçadeiras e parafusos. As mesmas ficam escondidas pelo balcão da pia (cozinha) e pedestal da pia do banheiro, enquanto que os canos da coluna do banheiro e do chuveiro ficam aparentes.

### **Subsistema cobertura**

Os oitões da cobertura são executados em alvenaria convencional. Já o forro da edificação pode ser executado em laje pré-moldada ou em madeira de cedrinho. A estrutura da cobertura é realizada em madeira a qual chega montada da fábrica. Para a cobertura são utilizadas telhas de fibro-cimento de 6 mm de espessura. A figura 12 mostra a execução da estrutura do telhado e a cobertura depois de pronta.



Figura 12: Montagem da estrutura do telhado e cobertura pronta

### **Revestimentos e acabamentos**

Internamente, os revestimentos podem ser realizados convencionalmente. Nas paredes pode-se aplicar reboco bem como madeira ou lambri, enquanto que na cozinha e no banheiro permite-se a utilização de revestimentos cerâmicos. Na face externa das paredes não há necessidade de reboco, pois as placas possuem uma aparência de tijolo à vista, podendo-se deixar com ou sem pintura.

## **5.2 SISTEMA CONSTRUTIVO CE**

O sistema construtivo caracteriza-se pela produção de casas em grandes painéis pré-moldados em concreto armado. Tais peças constituem-se painéis de fachada (contendo as aberturas de portas e janelas), lajes, oitões e paredes internas (contendo aberturas de portas).

### **Produção em fábrica**

Para a produção das placas para as casas são utilizadas formas metálicas, betoneiras e vibradores de imersão no adensamento do concreto. Antes da concretagem dos painéis, são fixados na armadura os eletrodutos e caixas para pontos elétricos, bem como dutos de água.

Após 20 horas, os painéis são desmoldados com o auxílio de um guincho e posicionados para cura e carregamento em caminhões para a expedição. Os mesmos recebem acabamento final na face oposta à forma, com auxílio de uma desempenadeira. A figura 13 mostra a pista de concretagem com formas prestes a receber o concreto e painéis prontos.



Figura 13: Painéis concretados

O sistema construtivo é considerado pesado, pois necessita de equipamentos de transporte vertical e horizontal para o carregar e posicionar os painéis, lajes e oitões. Portanto, utiliza-se um guincho do tipo munck para a realização desses serviços.

Para os trabalhos em fábrica, não há necessidade de mão-de-obra especializada, mas com conhecimentos em concretagens, utilizando-se cinco operários, sendo dois para armação, dois para concretagem e um para a desforma e auxílio no posicionamento e carregamento dos painéis. Com essa equipe, são gastos 2 dias para a produção de material para uma casa de 36 m<sup>2</sup>. A produtividade desta equipe é de  $t_1 = 2,22$  horas – homem/m<sup>2</sup> de área habitável.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

Em canteiro de obras, antes da chegada dos componentes da edificação, são efetuados os preparos do terreno, a fim de realizar o nivelamento, marcar e executar a fundação. O tempo necessário para a montagem da casa é de 15 dias, considerando-se os trabalhos de preparação do terreno, montagem e acabamentos, proporcionando uma produtividade de  $t_2 = 13,33$  horas-homem/m<sup>2</sup> de área habitável, utilizando-se quatro operários.

### Subsistema fundações

As fundações são executadas através de sapatas corridas em pedra grês, com viga de baldrame de 20x20 cm concretada no local, com formas em bloco de concreto pré-fabricado (perfil canaleta). Nesta são armadas quatro barras de aço 8 mm e estribos de 4,2 mm a cada 20 cm. Após, é realizada a impermeabilização da viga de fundação com pintura asfáltica e colocado lona plástica sob o contrapiso. A figura 14 mostra a fundação impermeabilizada e a preparação para execução do contrapiso.



Figura 14: Fundação e preparação para contrapiso

### Subsistema estrutura

A estrutura da edificação caracteriza-se por paredes autoportantes, podendo sustentar até quatro pavimentos. As mesmas são executadas de acordo com o item 5.2.1 e montadas sobre as fundações previamente executadas. Os painéis possuem resistência característica  $f_{ck} = 20$  Mpa, malha dupla em tela 20x20 cm de armadura CA 60 3,4 mm, com reforços para içamento e no contorno dos vãos.

### Subsistema envelope

O subsistema envelope é composto pelos mesmos painéis que configuram a estrutura da edificação. A espessura dos mesmos é de 12 cm, formadas por duas camadas de concreto com 5 cm e camada central em poliestireno expandido, com 2 cm, como tratamento térmico e acústico. As dimensões dos painéis são de no máximo 6 m e com 2,70 m de pé-direito, configurando uma peça de grande porte. A figura 15 apresenta o posicionamento de um painel de fachada frontal.



Figura 15: Posicionamento de painel de fachada frontal

### **Subsistema divisórias**

Assim como o subsistema envelope, as divisórias da edificação são do mesmo material. A única diferença está na espessura do painel, o qual possui 8 cm. A figura 16 a seguir mostra a execução deste subsistema.



Figura 16: Montagem de painéis de divisórias internas

### **Subsistema piso**

O contrapiso constitui-se na execução de um lastro de brita de regularização, impermeabilizado por uma lona preta e executada a concretagem, realiza-se o acabamento com desempenadeira. O mesmo está pronto para receber qualquer tipo de piso, sendo o mesmo escolhido pelo usuário final. Pode-se executar o piso em cerâmica, parque ou piso vinílico.

### **Subsistema instalações elétricas**

As instalações elétricas são executadas antes da concretagem das placas em fábrica. Os eletrodutos e pontos elétricos são fixados na armadura dos painéis, de acordo com o projeto elétrico previamente definido. Em obra é realizada a passagem dos condutores nos eletrodutos.

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

Assim como as instalações elétricas, as hidráulicas são embutidas nas placas pré-moldadas. Já as instalações sanitárias são executadas antes da concretagem do contrapiso, assim como a entrada de água do sistema público.

### **Subsistema cobertura**

A cobertura das edificações caracterizam-se pela execução de lajes pré-moldadas contendo os pontos elétricos embutidos. Na conformação da inclinação do telhado, são montados oitões pré-moldados e as tesouras de madeira que se apóiam na laje de forro. A figura 17 a seguir mostra a montagem das lajes e a execução da cobertura. Para a mesma, pode-se utilizar qualquer tipo de telhas, tanto cerâmicas

como de fibro-cimento. As telhas são cerâmicas, que podem ser substituídas por telhas de fibro-cimento, dependendo do nível da edificação.



Figura 17: Montagem das lajes e execução do telhado

### **Revestimentos e acabamentos**

Externamente, os acabamentos são realizados apenas com a aplicação da pintura, visto que a superfície é de boa qualidade, devido às formas metálicas. Internamente, pode-se utilizar revestimento cerâmico ou aplicação de massa corrida, gesso, dentre outros.

### **5.3 SISTEMA CONSTRUTIVO BP**

O sistema construtivo BP é aplicado e estudado pela Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul através de uma parceria com a Universidade Federal de Santa Maria. O mesmo ainda não se encontra homologado tecnicamente pela CEF, porém, é possível obter recursos para o financiamento dos materiais. A produção das casas é feita através de mão-de-obra do tipo mutirão, desde a fabricação até a montagem. A prefeitura possui uma parceria com a Superintendência de Serviços Penitenciários (SUSEPE) para a utilização do trabalho de presidiários na fabricação dos componentes, além de funcionários da própria prefeitura que passam instruções para os mesmos. Já para a montagem das casas é utilizada a mão-de-obra dos futuros moradores, com o intuito de reduzir custos.

As edificações são executadas com placas e pilares pré-moldados em concreto. Para a produção das placas utiliza-se argamassa de cimento, areia e borracha granulada proveniente de fábricas de remoldagem de pneus, como forma de aproveitamento desse rejeito. Já os pilares são produzidos com concreto armado convencional. São construídas edificações térreas para famílias que antes residiam em favelas da cidade. As casas populares possuem área padrão de 40 m<sup>2</sup>, possuindo uma modulação de 1 m, correspondente ao eixo dos pilares.

### Produção em fábrica

Na fábrica são produzidas as placas, pilares, fossa séptica e a estrutura para o telhado. As primeiras são feitas com argamassa de cimento, areia e raspas de borracha. Os pilares são executados em concreto armado convencional, com resistência característica  $f_{ck} = 15 \text{ Mpa}$ . As fossas são fabricadas com o mesmo material das placas e a estrutura do telhado é feita em madeira.

Para a produção de concreto é utilizada apenas uma betoneira, sem a necessidade de equipamentos especiais para o transporte das peças devido ao peso reduzido das mesmas. As peças são conformadas em formas metálicas e, para a fossa séptica, utiliza-se uma forma de fibra de vidro. A figura 18 a seguir mostra as formas e as placas já moldadas.



Figura 18: Formas metálicas e placas concretadas

Para produção dos pré-moldados, é utilizada a mão-de-obra de dezesseis pessoas possibilitando a produção máxima de 120 placas por dia, o necessário para a montagem de uma casa. Os trabalhadores desenvolvem uma produtividade média de  $t_1 = 3,20 \text{ hh/m}^2$  de área habitável.

### Construção e/ou montagem em canteiro de obras

Visando a diminuição dos custos de produção, a montagem das edificações em canteiro de obras é feita através do sistema mutirão, formado pelos futuros moradores das unidades. A mesma é comandada por um mestre de obras, funcionário da prefeitura, que passa as informações necessárias sobre a montagem das casas. Em média, são necessários cinco operários para a montagem, proporcionando uma produtividade de  $t_2 = 8,00 \text{ hh/m}^2$  de área habitável, gastando-se 8 dias.

### Subsistema fundações

Após a regularização do terreno são executadas as fundações da edificação. Elas são feitas em sapata corrida, de pedra grês, devendo ter, no mínimo, duas camadas e devidamente niveladas. Após são colocadas formas metálicas padronizadas para a execução da viga de baldrame. Nela já ficam previstas as esperas para os pilares de sustentação da edificação. Realiza-se, então, o aterramento das fundações e executa-se o contrapiso, nivelando-o e deixando-o pronto para receber o acabamento final. A figura 19 mostra as fundações prontas, bem como as formas metálicas e o contrapiso pronto.



Figura 19: Etapas de execução das fundações

### Subsistema estrutura

Sobre a viga de baldrame estão previstos os encaixes dos pilares da estrutura da edificação. Existem dois perfis de pilares: de canto e tipo “T”. Os mesmos são em concreto armado, com resistência característica  $f_{ck} = 15 \text{ Mpa}$  e possuem 3 m de altura. A longo do pilar já estão previstos parafusos, na parte interna do mesmo, para a colocação de uma guia de madeira, a qual vai conformar a canaleta para posterior colocação das placas. No topo, também existe um parafuso para a fixação de uma guia de madeira para a amarração entre os pilares. A figura 20 mostra a estrutura e a cobertura da edificação executada e pronta para o fechamento.



Figura 20: Estrutura e cobertura pronta

### Subsistema envelope

As paredes externas são formadas por chapas de argamassa com dimensões de 90x50x3 cm, cuja composição é de cimento, areia e raspas de borracha de pneu. As mesmas são fixadas nos pilares com o auxílio de mestras de madeira, com altura igual ao pé-direito, como mostra a figura 21 a seguir.



Figura 21: Execução do envelope

### **Subsistema divisórias**

Apenas as divisórias do banheiro com a cozinha e sala são executadas com placas e pilares. O restante das divisórias internas são feitas, geralmente, em madeira, podendo ser executadas em alvenaria convencional, dependendo da situação financeira do usuário final.

### **Subsistema piso**

Após a execução do aterramento e impermeabilização das fundações da edificação, é concretado o contrapiso deixando-o nivelado e pronto para a colocação de qualquer tipo de piso.

### **Subsistemas instalações elétricas e hidrossanitárias**

As instalações elétricas são executadas convencionalmente, através da fixação de canaletas e dispositivos elétricos nas paredes e, no forro, são fixadas na estrutura do telhado. A segunda também possui características convencionais, ficando aparentes, sendo que as sanitárias são embutidas no piso da edificação.

### **Subsistema cobertura**

A cobertura da edificação é realizada logo após a fixação da estrutura da edificação, como mostra a figura 20, proporcionando, assim, possibilidade de continuidade da montagem em dias chuvosos. A estrutura do telhado é feita por tesouras de madeira, pré-montadas na fábrica. O telhado é em telhas de zinco (chapa nº 28), sem cumeeira, sendo que o usuário final poderá optar por telhas de fibrocimento de 5 mm. E o forro da edificação é constituído por placas de “isopor” com 1 cm de espessura.

### **Revestimentos e acabamentos**

Como o objetivo do sistema construtivo é proporcionar uma moradia com baixos custos, a maioria das edificações não recebem nenhum tipo de revestimento externo. Já, internamente, é feito um revestimento em madeira de cedrinho ou lambri. No banheiro e cozinha são colocados revestimentos cerâmicos no piso e parede. Se o usuário tiver maiores condições, pode-se optar por revestir interna e externamente com argamassa e pintura.

## **5.4 SISTEMA CONSTRUTIVO GFH**

Esse sistema construtivo caracteriza-se pela produção de edificações com o fechamento em painéis de chapas de fibra de vidro, estruturadas com caibros de madeira. São construídas casas térreas

unifamiliares, com um projeto básico, padrão popular, de 28 m<sup>2</sup>, que contém dos dormitórios, banheiro e cozinha. Para a produção dos painéis é respeitada uma modulação de 90 cm.

### **Produção em fábrica**

Os componentes fabricados pela empresa são as chapas e a estrutura dos painéis em madeira. Essas chapas constituem-se em painéis laminados de fibra de vidro estruturadas com “fiberglass roving”, gel com composição anti-flama de alumina hidratada a 5% e carbonato de cálcio, com espessura variável entre 2,5 e 3,0 mm, estruturados em madeira de cedrinho seca, imunizada por impregnação e subestrutura complementar redutora de flexibilidade. Os montantes dos painéis são inseridos a cada 90 cm, com altura igual a 2,60 m. As mesmas são montadas, ficando prontas para transporte e montagem em canteiro de obras. Além disso, são realizadas a montagem das tesouras em madeira para a cobertura da edificação.

Os equipamentos utilizados para a fabricação são ferramentas de carpintaria para a confecção da estrutura dos painéis e, para as chapas, são utilizadas máquinas jateadoras que projetam a mistura dos polímeros em formas, que conformarão as chapa.

A fábrica tem uma capacidade de produzir, em sete dias, todos os componentes de uma edificação de 28 m<sup>2</sup>, o qual é o projeto de padrão popular, necessitando-se de seis operários. Sendo assim, a empresa proporciona uma produtividade de  $t_1 = 12$  hh/m<sup>2</sup> de área habitável.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

Enquanto ocorre a fabricação dos componentes da edificação, uma equipe de operários começa a preparação do terreno para a execução da mesma. Estima-se que para a construção gastam-se, em média, 7 dias, utilizando uma equipe de três operários, que apresentam uma produtividade de  $t_2 = 6$  hh/m<sup>2</sup> de área habitável.

### **Subsistema fundações**

Por ser um sistema construtivo que não possui elementos e componentes pesados, geralmente é em radier. Após a preparação do terreno, é executado um lastro de brita, dispostos a armadura e feita a concretagem do radier, numa espessura de 10 cm, procurando deixar os ganchos de amarração dos painéis das paredes externas. A figura 22 a seguir mostra as fundações em radier já executadas.



Figura 22: Fundações em radier

### **Subsistema estrutura**

A estrutura da edificação é formada por sarrafos de 4x4 cm nos cantos da edificação, por caibros do tipo “T” ao longo das paredes e vigas superiores das mesmas dimensões dos sarrafos, fazendo a amarração da estrutura, que irá sustentar os painéis e as cargas incidentes na edificação.

### **Subsistema envelope**

As paredes externas são constituídas por painéis em fibra de vidro divididos em módulos de 90 cm e com conjunto de monoblocos, de dois ou três módulos, justapostos, soldados e unidos através de fixações metálicas perenes. Nesses painéis estão inseridas as aberturas destinadas às portas e janelas, perfeitamente ajustáveis e impermeabilizadas. Todos os conjuntos e componentes são caracterizados por permanente e durável estanqueidade, própria dos materiais e dos critérios técnicos adotados. As paredes externas são duplas, sendo o lado externo em chapa de fibra de vidro e o lado interno é em madeira de cedrinho ou em lambri. A figura 23 a seguir mostra a casa pronta.



Figura 23: Casa pronta

### **Subsistema divisórias**

As divisórias internas são executadas em madeira ou lambri, com espessura de 10 mm. As mesmas podem ser duplas ou simples. São estruturadas verticalmente, com barrotes de madeira de 3x3 cm.

### **Subsistema piso**

O piso constitui-se em um contrapiso formado pelo radier. Quando executadas as fundações, já é realizada a preparação para o piso definitivo. Pode-se utilizar qualquer tipo de piso cerâmico: madeira, piso vinílico, ficando a cargo do usuário final essa decisão.

### **Subsistema instalações elétricas**

Quando as paredes são duplas, as instalações elétricas são embutidas nas mesmas. Os fios condutores estão introduzidos em eletrodutos de PVC próprio para este fim. Já, quando as paredes são simples, as instalações são aparentes, sendo que os fios condutores são presos na parede através de canaletas de plástico.

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

As instalações hidráulicas são embutidas em uma parede hidráulica, executada em alvenaria convencional, a qual divide a cozinha e o banheiro. As sanitárias são previstas antes da concretagem do contrapiso e ligadas à rede de esgoto municipal ou em fossa séptica e poço sumidouro.

### **Subsistema cobertura**

A cobertura caracteriza-se por um forro em madeira de cedrinho, fixando nas tesouras da estrutura da cobertura. O fechamento é feito com telhas de fibro-cimento ou em telhas cerâmicas, dependendo da decisão do usuário final.

### **Revestimentos e acabamentos**

As chapas de fibra de vidro não necessitam de acabamentos, devido à qualidade da conformação dos mesmos em fábrica, sendo aplicado textura com tinta de acordo com o usuário final. Internamente, as divisórias são entregues aplainadas e imunizadas contra insetos e aplicado um verniz ou outra textura.

## **5.5 SISTEMA CONSTRUTIVO QH**

O sistema construtivo constitui-se na fabricação de residências unifamiliares, lojas de conveniência e de *fast food*, utilizando-se chapas de aço galvanizado para paredes externas e estrutura metálica. As edificações são térreas, podendo variar de acordo com o projeto exigido pelo cliente.

A empresa dispõe um projeto padrão para casas unifamiliares destinado à habitação de interesse social. Essa possui 42 m<sup>2</sup>, dividida em sala, cozinha, banheiro e dois dormitórios. Para a fabricação dos componentes, é exigido uma modulação pré determinada correspondente a 61 cm.

### **Produção em fábrica**

Quando o pedido de uma edificação é feito, é solicitado a uma empresa fornecedora de chapas de aço o material dos componentes já cortados e dobrados, nas dimensões e formas dos mesmos. A fábrica do sistema construtivo apenas realiza a conformação dos elementos construtivos da edificação.

A fábrica pode tanto montar a edificação no canteiro de obras quanto transportar a mesma já montada, dependendo das dimensões. Quando montada em fábrica, apenas dois operários são necessários para a realização dos serviços, gastando em média 15 dias para a sua finalização. Após isso, a edificação é carregada em um caminhão especial e levada até o local da obra, sendo montada em apenas 4,5 horas. A figura 24 demonstra o momento da montagem de uma edificação semi pronta.



Figura 24: Transporte de uma edificação semi montada

Por outro lado, os painéis podem ser montados na fábrica e transportados para o canteiro de obras. Os mesmos constituem-se em painéis de fachada, contendo as aberturas de janelas e portas já fixadas, estruturados por vigas e pilares de aço. O tempo necessário para a fabricação é de 15 dias desde o pedido do material, proporcionando uma produtividade de  $t_1 = 5,71$  hh/m<sup>2</sup> de área habitável.

Para a fabricação dos componentes são utilizados ferramentas de serralheria, tais como: equipamento de solda e serras para corte. E, para o carregamento dos componentes é utilizado um guincho do tipo munck.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

Após o recebimento e início dos trabalhos em fábrica para a confecção dos componentes da edificação, uma equipe de operários começa os trabalhos de limpeza do terreno para a execução das fundações. Essa equipe é formada por cinco operários, os quais irão executar a montagem da casa.

Para a montagem da casa e finalização de todos os acabamentos são gastos 15 dias. Assim, a equipe desenvolve uma produtividade de  $t_2 = 14,29$  hh/m<sup>2</sup> de área habitável.

### **Subsistema fundações**

As fundações da edificação serão de acordo com o tipo de solo, sendo geralmente executados em radier. Para tanto, é necessário o nivelamento do terreno e a execução de um lastro de brita, a colocação de uma malha de aço para ser executada a concretagem da fundação, que é nivelada e alisada para dar o acabamento.

### **Subsistema estrutura**

A estrutura da edificação é em perfis metálicos, os quais são executadas a partir do corte e dobra de chapas de aço galvanizado SAC 250, sendo fixados as chapas de aço e madeira, formando paredes autoportantes, as quais irão suportar as cargas devido ao peso próprio, as acidentais e as do telhado. A figura 25 mostra o descarregamento do painel autoportante e o mesmo já executado.



Figura 25: Descarregamento e execução de painel autoportante

### **Subsistema envelope**

O envelope da casa é composto pela estrutura descrita anteriormente. A mesma possui 15 cm de espessura, preenchida com mantas de lã de vidro para tratamento acústico e térmico. O lado externo da parede é em chapas de aço galvanizadas, fixadas na estrutura metálica, com parafusos autoatarraxantes. Para dar o acabamento, são fixadas lâminas de vinil, que possuem aspecto de madeira pintada, disponível em várias cores. Internamente, são colocadas chapas de compensado ou placas de gesso acartonado, com pintura ou colocação de papel de parede. A figura 25 anterior seguir, mostra, também, a execução do envelope da casa, contendo as aberturas de portas e janelas.

### **Subsistema divisórias**

As paredes são revestidas internamente com chapas de gesso acartonado, com espessura de 12,5 cm. O gesso é parafusado na estrutura, com parafusos auto-atarraxantes e depois é feito o acabamento

das juntas, com fita de papel e massa especial. O gesso pode ser pintado diretamente com tinta látex ou aplica-se papel de parede. A figura 26 a seguir mostra a execução de uma divisória interna.



Figura 26: Execução de divisória interna

### **Subsistema piso**

Após a execução das fundações é realizado o nivelamento e alisamento do contrapiso, deixando-o pronto para receber qualquer tipo de piso. Fica a cargo do usuário a decisão final.

### **Subsistema instalações elétricas**

As instalações elétricas são todas executadas embutidas nas paredes e no forro da edificação. Os eletrodutos em PVC são fixados previamente nos montantes metálicos dos painéis através de abraçadeiras, inseridas no momento da montagem dos painéis.

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

Assim como as instalações elétricas, a hidráulica também é embutida nas paredes e fixadas da mesma forma das anteriores. Já as sanitárias são previstas antes da concretagem do radier e executadas convencionalmente.

### **Subsistema cobertura**

O forro da edificação é executado com perfis de aço presos à estrutura do telhado para a fixação das chapas de madeira ou gesso acartonado. Para isolamento térmico são colocadas mantas de lã de vidro. A estrutura do telhado é formada por perfis metálicos semelhantes aos da estrutura da edificação. Nela é disposto compensado naval e pregadas telhas asfálticas, do tipo “shingles”, podendo ser colocado outro tipo de telhas, por exemplo, fibro-cimento ou telhas cerâmicas.

O telhado pode ser executado, em obra ou ser pré-montado de fábrica. A figura 27 mostra a montagem de um telhado pré-montado.



Figura 27: Execução de telhado pré-montado

### Revestimentos e acabamentos

O sistema construtivo possui a vantagem de não necessitar de revestimento externo, sendo que os painéis já apresentam uma aparência e textura semelhantes à madeira. Internamente, pode-se aplicar papel de parede para ter estética diferenciada nos ambientes. O piso é executado convencionalmente, com o acabamento de qualquer tipo.

## 5.6 SISTEMA CONSTRUTIVO CF

O sistema construtivo CF caracteriza-se pela utilização de paredes portantes formadas por perfis em PVC (policloreto de vinila), encaixados verticalmente. Sua fôrma é natural, para posterior concretagem dos vãos. As paredes são executadas com auxílio de uma estrutura metálica, que lhe dá a sustentação, nivelamento e prumo.

As edificações executadas com esse sistema construtivo podem ser em condomínios residenciais térreos ou mesmo com até quatro pavimentos. Usualmente, são realizadas edificações unifamiliares, com um pavimento, podendo ser adaptado a qualquer tipo de projeto arquitetônico, desde que se respeite uma modulação pré-estabelecida, que pode ser de 75 mm ou 100 mm. Tais dimensões conferem tanto a espessura da parede quanto a largura do perfil.

O kit completo de uma edificação padrão popular corresponde a uma área construída de 40 m<sup>2</sup>, para dois dormitórios, sala e cozinha conjugados, banheiro e área de serviço.

### Produção em fábrica

A empresa caracteriza-se por ser uma indústria de produtos em PVC. Além de possuir o sistema construtivo, a mesma produz forros, portas, esquadrias, persianas e divisórias. O sistema construtivo caracteriza-se pela racionalização dos componentes, necessitando de apenas oito perfis básicos: um principal, um de canto, um interno, uma tampa, um perfil de base, um perfil de marco de porta, um perfil

de marco de janela e um adaptador de janela. O perfil principal e a tampa representam 95% dos perfis utilizados na fabricação da casa. Esses perfis são moldados com o mesmo material dos outros produtos da empresa, sendo que para cada tipo de material são feitas adaptações nas máquinas extrusoras de PVC.

A confecção dos materiais necessários para uma casa caracteriza-se pela total industrialização da produção, sem o contato direto do operário na sua conformação. Isso proporciona uma altíssima produtividade se a empresa fosse produzir componentes apenas para o sistema construtivo, considerando-se, para efeitos de cálculo da fórmula 1, o tempo de fábrica  $t_1$  igual a zero.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

O sistema construtivo apresenta grande racionalização no processo construtivo da edificação por utilizar componentes industrializados, reduzindo, assim, o desperdício de materiais. Isso se torna viável pelo recebimento dos materiais nas medidas e quantidades exatas, devidamente identificados em canteiro de obras.

Para a execução de uma casa do projeto padrão de 40 m<sup>2</sup>, leva-se, em média, 3 semanas, com o serviço de quatro operários devidamente treinados. Essa equipe desenvolve uma produtividade  $t_2 = 16,8$  hh/m<sup>2</sup> de área habitável.

### **Subsistema fundações**

A decisão do tipo de fundação está condicionada ao tipo de solo em que será realizada a construção. Em estudos de desenvolvimento do sistema, adota-se como solução técnica padrão o radier, por ser uma alternativa adaptável, simples e rápida. Nele é feito o nivelamento e a preparação, sem a necessidade de arremates, para a execução do piso definitivo, de forma convencional. No entanto, é recomendável fazer-se um estudo geotécnico para analisar as características do terreno, para não haver problemas futuros. A figura 28 a seguir demonstra um radier pronto para início da montagem.



Figura 28: Radier pronto para a montagem

### **Subsistema estrutura**

A estrutura da edificação é formada por paredes portantes, as quais receberão todas as cargas incidentes da edificação. Os perfis de PVC podem ter 75 mm ou 100 mm de espessura, dimensões que correspondem à espessura final da parede. No seu interior são colocadas armaduras de conexão entre paredes e fundação, e armaduras de reforço no entorno de vãos para suportar concentrações de esforços, tais como vãos de aberturas. E, por fim, utiliza-se uma armadura no nível de cintamento superior nos últimos 30 cm da parede, para aumentar a monoliticidade da edificação. A figura 29 a seguir apresenta o detalhe da armadura do encontro de paredes.



Figura 29: Detalhe de armadura do encontro de paredes

Após a montagem dos perfis, executa-se a concretagem dos vãos, numa operação única. O concreto utilizado deve ter uma grande plasticidade, além de razoável resistência à compressão, para que o mesmo preencha todos os vazios dos perfis. Para isso, são utilizados aditivos superplastificantes na dosagem do concreto, para garantir a fluidez e o preenchimento de todos os vazios dos perfis. A figura 30 a seguir demonstra o momento da concretagem das paredes.



Figura 30: Concretagem das paredes

### **Subsistema envelope**

O subsistema envelope é formado pelas paredes portantes descritas no item anterior. As mesmas chegam até a obra num kit, descarregado em um palete, pesando aproximadamente uma tonelada,

devidamente identificado. A seguir, a figura 31 apresenta este kit e as paredes já montadas e concretadas.



Figura 31: Kit correspondente às paredes de uma casa e envelope montado

### **Subsistema divisórias**

As divisórias internas possuem as mesmas características que o subsistema anterior, sendo montado da mesma forma.

### **Subsistema piso**

O piso é feito sobre o contrapiso e executado sobre o radier. Esse subsistema é realizado convencionalmente, sem nenhum tipo de padronização. O usuário final pode definir o tipo e a qualidade do piso, que, geralmente, é executado com lajotas cerâmicas.

### **Subsistema instalações elétricas**

As instalações elétricas são embutidas nas paredes da edificação. O eletrodutos são fixados na vertical, antes da concretagem, evitando-se as tubulações horizontais. Os condutores são formados por kits, chamados de chicotes. Os mesmos são componentes industrializados, que são fornecidos nas dimensões fixadas pelo projeto elétrico, e devidamente codificados. A figura 32 a seguir mostra os componentes antes da colocação, já colocados nos pontos onde receberão os dispositivos.



Figura 32: Chicotes antes da colocação e já colocados nos eletrodutos

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

As instalações hidrossanitárias seguem as mesmas características das instalações elétricas, evitando-se sempre tubulações horizontais, porém executadas convencionalmente, podendo conter shafts para manutenção. As tubulações são embutidas nas paredes e piso e fixadas antes da concretagem das mesmas. A figura 33 mostra os pontos já embutidos na parede.



Figura 33: Instalações embutidas nas paredes

### **Subsistema cobertura**

O forro da edificação é em perfis de PVC, fixados na estrutura da cobertura. Esta é composta por perfis leves fabricados com chapas de aço galvanizado. Pode-se utilizar qualquer tipo de telha, embora sejam utilizadas, geralmente, telhas de fibro-cimento, visando a diminuição de custos. A figura 34 mostra a execução da estrutura e a casa pronta.



Figura 34: Execução da estrutura do telhado e casa pronta

### **Revestimentos e acabamentos**

A superfície das paredes podem ser pintadas externamente, utilizando-se, primeiramente, o sistema elastomérico, com melhor absorção às movimentações térmicas, para, posteriormente, aplicar tinta acrílica ou texturizada. Além disso, as paredes podem receber revestimento cerâmico ou papel de parede, na parte interna da edificação. Por outro lado, os perfis em PVC podem, também, ser utilizados sem qualquer tipo de acabamento ou revestimento.

## 5.7 SISTEMA CONSTRUTIVO RB

O sistema construtivo RB é originário da indústria de PVC (policloreto de vinila), que é uma tecnologia importada. Tal sistema consiste em paredes autoportantes executadas com perfis tridimensionais de PVC, preenchidos com concreto estrutural, e reforçadas com barras de aço. Vários tipos de edificação são executados, podendo ter até quatro pavimentos. A empresa já realizou desde casas populares até escolas e hospitais com esse sistema construtivo.

Para habitações de interesse social, a empresa oferece um projeto padrão, contendo 42 m<sup>2</sup> de área. Por outro lado, o sistema construtivo pode ser adaptado a qualquer projeto arquitetônico, desde que respeite as modulações. A coordenação modular varia de acordo com o perfil a ser usado, podendo ser de 64, 100, 150 e 200 mm. Estes valores correspondem à largura e à espessura do perfil. A figura 35 apresenta as espessuras das paredes.



Figura 35: Coordenação modular e espessura das paredes

### Produção em fábrica

A produção dos componentes para o sistema construtivo é automatizada, sendo que os operários apenas operam as máquinas extrusoras de PVC, sem contato direto com o produto desde a sua mistura até a conformação final. A figura 36 mostra um panorama geral da fábrica, com alguns maquinários de extrusão do PVC.



Figura 36: Panorama geral dos equipamentos da fábrica

A empresa fabrica os perfis que compõem as paredes, marcos de aberturas, portas, esquadrias, perfis de canto e forro. Devido ao grande número de equipamentos de fabricação dos componentes, a fábrica desenvolve uma grande produtividade, considerando-se, para efeitos de cálculo da fórmula 1, o tempo de fábrica  $t_1$  igual a zero.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

Os materiais são entregues em obra de uma só vez, embalados e devidamente identificados, de acordo com as especificações de projeto. Além disso, a padronização dos componentes torna a montagem mais ágil, com ganhos significativos em tempo de execução. Estima-se que para a execução de uma casa popular com 42 m<sup>2</sup>, leva-se, em média 15 dias, com o trabalho de cinco operários, desenvolvendo uma produtividade de  $t_2 = 14,29$  hh/m<sup>2</sup> de área habitável.

### **Subsistema fundações**

As fundações são executadas, geralmente, com radier de 10 cm de espessura, com uma malha de aço e proteção, com loja de plástico para evitar umidade. A figura 37 mostra a preparação para a concretagem do radier de uma casa.



Figura 37: Preparação para concretagem de radier

### **Subsistema estrutura**

A estrutura é formada por paredes portantes em perfis de PVC, preenchidas com concreto celular leve ou estrutural, as quais receberão todas as cargas incidentes na edificação. A estrutura recebe reforço com barras de aço de 12,5 mm no encontro entre paredes e nos cantos da edificação, fixadas na fundação antes da concretagem. Dessa forma, isso proporcionará maior monoliticidade da estrutura diante das cargas acidentais e de peso próprio. A figura 38 mostra os detalhes dos reforços na estrutura.

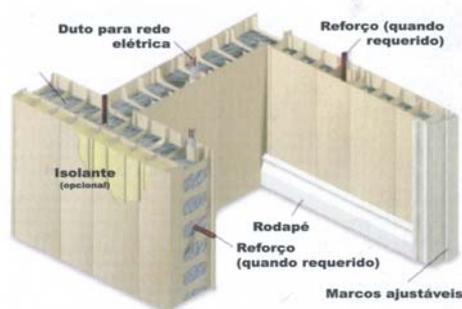


Figura 38: Detalhes de reforço com barras de aço

### Subsistema envelope

As paredes da edificação fazem parte da estrutura e são executadas a partir da fixação de guias para a marcação das paredes e fixadas na fundação a cada 23 cm. Após são colocadas e fixadas as cantoneiras juntamente com as barras de reforço. Inicia-se, então, a montagem dos perfis, fixando-os com uma estrutura metálica adicional, que auxilia no alinhamento e prumo das paredes. Por fim, é realizada a concretagem dos perfis numa operação única. O mesmo deve ter trabalhabilidade e plasticidade suficientes para ocupar todos os vazios dos perfis, além de boa resistência à compressão. A seguir na figura 39, é apresentado o momento da montagem e concretagem dos perfis.



Figura 39: Montagem e concretagem dos perfis

### Subsistema divisórias

Assim como as paredes externas, as divisórias internas são executadas com as mesmas características.

### Subsistema piso

O piso é executado convencionalmente sobre o contrapiso formado pelo radier da edificação. Pode ser utilizado qualquer tipo de piso, como por exemplo: cerâmica, madeira, piso vinílico, etc; cuja decisão caberá ao usuário final.

### **Subsistema instalações elétricas**

As instalações elétricas são todas embutidas nas paredes e forro. Nas paredes, antes da concretagem, são fixados eletrodutos em pontos definidos pelo projeto. A fiação e conexão dos dispositivos (tomadas e interruptores) são feitas após o término da concretagem e cobertura.

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

Assim como as instalações elétricas, as hidrossanitárias são embutidas nas paredes e piso, previstas em projeto.

### **Subsistema cobertura**

O forro da edificação pode ser em perfis de PVC ou laje pré-fabricada. As habitações populares são executadas com o primeiro material, que é fixado na estrutura da cobertura. Já esta pode ser feita em madeira ou metálica, cujo fechamento é feito com telhas de fibro-cimento ou telhas cerâmicas. A figura 40 apresenta a execução da cobertura.



Figura 40: Execução da cobertura

### **Revestimentos e acabamentos**

Nesse sistema construtivo não há necessidade de utilização de revestimento, tanto externo quanto interno. No lado externo pode-se aplicar tintas de diversas cores, respeitando o tratamento inicial da superfície para a aderência das mesmas. Já, internamente, pode-se utilizar revestimentos cerâmicos ou papéis de parede.

## **5.8 SISTEMA CONSTRUTIVO ST**

O sistema construtivo ST caracteriza-se pela produção de habitações de até três pavimentos em estrutura metálica, com fechamentos em alvenaria convencional. A empresa oferece um projeto padrão

para habitações de baixo custo com 70 m<sup>2</sup>, podendo ser modificado de acordo com as necessidades do usuário final. O mesmo não possui coordenação modular pré-definida, pois os vãos são definidos de acordo com o projeto estrutural.

### **Produção em fábrica**

A empresa produz apenas a estrutura metálica, entre vigas, pilares e estrutura para telhado, sendo que os outros componentes da edificação são adquiridos no comércio local. Para a fabricação dos componentes, são utilizadas ferramentas de serralheria para corte e dobra do aço, compressores e pistolas para pintura dos perfis.

A fábrica tem capacidade de produzir material para três casas a cada 7 dias, utilizando uma equipe de dez operários, entre soldadores, pintores e operadores de equipamentos de corte e dobra do aço. Com isso, desenvolve-se uma produtividade de  $t_1 = 2,67$  hh/m<sup>2</sup>.

### **Construção e/ou montagem em canteiro de obras**

Após a entrega da estrutura metálica em obra, inicia-se a montagem da mesma, utilizando-se a mão-de-obra de cinco operários, os quais entregam essa etapa em apenas um dia de trabalho. O restante da edificação é executada em 60 dias, com essa mesma equipe de operários, desenvolvendo uma produtividade média de  $t_2 = 34,29$  hh/m<sup>2</sup>.

### **Subsistema fundações**

As fundações das edificações estão condicionadas ao tipo de solo onde ocorrerá a construção. Geralmente são executadas convencionalmente através de um radier em concreto armado, recebendo o devido acabamento para futura colocação do piso definitivo. Vale lembrar que sempre é necessário fazer um estudo geotécnico para definir o tipo de fundação a ser utilizada.

### **Subsistema estrutura**

A estrutura da edificação chega até a obra devidamente identificada e executada de acordo com o projeto estrutural previamente confeccionado. A mesma se caracteriza por pilares, vigas e estrutura da cobertura em perfis de aço de chapas dobradas. A figura 41 mostra toda a estrutura montada e pronta para receber as telhas.



Figura 41: Montagem da estrutura da edificação

### **Subsistema envelope**

O subsistema envelope caracteriza-se pela execução em alvenaria convencional de blocos cerâmicos de seis furos. A espessura das paredes externas correspondem à largura do bloco mais o revestimento em argamassa. A figura 42 mostra a execução da alvenaria.



Figura 42: Execução da alvenaria

### **Subsistema divisórias**

As divisórias internas também são executadas em alvenaria convencional de blocos cerâmicos, com 15 cm de espessura, mas o revestimento.

### **Subsistema piso**

O contrapiso se define quando se faz o acabamento do radier. O mesmo fica pronto para receber o piso definitivo, que é definido pelo usuário final. Pode-se utilizar qualquer tipo de piso, como: cerâmica, madeira, piso vinílico, dentre outros.

### **Subsistema instalações elétricas**

As instalações são executadas convencionalmente, fazendo-se rasgos na alvenaria antes do revestimento e embutindo os eletrodutos. A fiação é colocada após os acabamentos da edificação.

### **Subsistema instalações hidrossanitárias**

Assim como as instalações elétricas, as hidráulicas também são embutidas nas paredes e executadas convencionalmente. As sanitárias são embutidas no contrapiso, previstas antes da execução do mesmo.

### **Subsistema cobertura**

A estrutura da cobertura é montada juntamente com a estrutura da edificação, anterior à execução das paredes em alvenaria. A mesma é feita em perfis metálicos e recebe as telhas, que podem ser de fibrocimento ou em cerâmica. A figura 43 mostra a edificação pronta.



Figura 43: Vista da residência pronta

### **Revestimentos e acabamentos**

Os revestimentos e acabamentos da edificação são executados convencionalmente, e realizados com argamassa dosada para cada fim. A pintura é feita com tinta acrílica.

## 6 A AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS INVESTIGADOS

---

Este capítulo apresenta a avaliação dos sistemas construtivos de acordo com as sistemáticas de avaliação apresentadas anteriormente. Inicialmente será realizada uma análise preliminar das tecnologias de edificação, utilizando os quatro elementos da industrialização na construção de habitações: sistematização dos produtos, especialização da mão-de-obra, concentração da produção e mecanização. Após, far-se-á a avaliação do processo de fabricação, determinando o índice de produção industrial de cada tecnologia. E, por fim, realizar-se-á a avaliação da sistematização do produto, discutindo a evolução das tecnologias através da relação dos elementos da sistematização e os subsistemas das mesmas.

A avaliação das tecnologias de edificação, sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção, por sua vez, será conduzida de acordo com o roteiro estabelecido no item 3.2.5. Após a realização da coleta dos dados, serão aplicados os indicadores de desempenho e, através de seus resultados, será feita a análise da eficiência de cada sistema construtivo, relacionando-os com os requisitos de desempenho correspondentes.

Por fim, surgiu a necessidade de um relacionamento entre as duas sistemáticas de avaliação de tecnologias de edificação. Tal confronto será realizado através de uma correlação entre seus respectivos requisitos de desempenho, apresentando suas semelhanças e discutindo os resultados das avaliações de forma conjunta.

### 6.1 ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES

Considerando o sistema tradicional de construção, em especial a produção de habitações unifamiliares de baixo custo, executadas em alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos e em madeira, descritos no item 3.1.1, constata-se que ainda se encontra no mercado a estrutura apresentada. A mesma envolve um profissional que apenas realiza o projeto arquitetônico e que define os tipos de materiais que melhor se enquadram para o atendimento das necessidades requeridas pelo cliente e, este último, contrata um empreiteiro, que executa a edificação de acordo com exigências pré-estabelecidas.

Ao confrontar o sistema tradicional com os sistemas construtivos investigados, pode-se afirmar que as evoluções ocorridas, em termos de materiais e subsistemas, são pontuais, destacando-se as modificações ocorridas a partir da substituição de um material, tido como tradicional, por outros industrializados, ou, ainda, no processo de fabricação de componentes. Exemplos claros desses aspectos são a substituição da alvenaria convencional executada em tijolos ou blocos cerâmicos por perfis em PVC, preenchidos com concreto leve ou convencional. Já no processo de fabricação, as evoluções dos subsistemas envelope e estrutura, são produzidas com a utilização de sarrafos de madeira, com fechamento na face exterior, em chapas de fibra de vidro e, no interior, com chapas de madeira compensada, no caso da tecnologia GFH.

Através dessas evidências, pode-se classificar os sistemas construtivos investigados, de forma que se analise as tecnologias de acordo com a sua origem, comparando com o sistema tradicional de construção, executado em alvenaria convencional de tijolos ou blocos cerâmicos e em madeira. O quadro 11 apresenta essa classificação preliminar.

<b>CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS INVESTIGADOS DE ACORDO COM SUA ORIGEM</b>	
<b>Sistema tradicional executado em alvenaria</b>	<b>Sistema tradicional executado em madeira</b>
Sistema CF	Sistema GFH
Sistema RB	Sistema QH
Sistema MOA	
Sistema BP	
Sistema CE	
Sistema ST	

Quadro 11: Classificação dos sistemas construtivos investigados de acordo com sua origem

### 6.1.1 Avaliação das tecnologias pelo processo de fabricação

A avaliação de sistemas construtivos para habitação de baixo custo é realizada através do seu processo de fabricação, utilizando-se a fórmula adaptada de Ordoñez (1974), que leva em conta as atividades de natureza industrial, àquelas realizadas dentro de uma fábrica e em canteiro de obras, desde que esse último apresente os conceitos de Turner; Turner (1972) apud Duarte (1982), como foi descrito no item 2.1.3. Desse modo, a tabela 2 mostra um quadro comparativo entre as tecnologias investigadas, que apresenta as variáveis obtidas em fábrica e em canteiro de obras,  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente, bem como a relação  $r$  e o índice de produção industrial  $i$  de cada uma delas.

Verifica-se que nessa tabela, as tecnologias RB e CF possuem o tempo em fábrica  $t_1$  iguais a zero, e para realizar a avaliação, considera-se os tempos em canteiro de obras  $t_2$ . Esse fato dá-se pela origem industrial das mesmas, isto é, são provenientes da indústria do PVC, sendo que a produção dessas empresas não é exclusiva para a fabricação de componentes para os sistemas construtivos em

questão. A fabricação do PVC é totalmente automatizada, possuindo diferentes linhas de materiais, em grande quantidade, desde os perfis para o sistema construtivo até componentes para fabricação de portas, janelas e forros. Justifica-se, então, a desconsideração dos tempos em fábrica, que possui um tempo muito pequeno de fabricação, relacionando-se com as outras tecnologias. Já em canteiro de obras, as atividades têm características semi-industriais, pois ocorre a montagem de todos perfis e, posteriormente, é realizado o preenchimento com concreto, além da montagem da estrutura do telhado.

TABELA DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO						
Sistema Construtivo	Área $m^2$	$t_1$ $hh/m^2$	$t_2$ $hh/m^2$	T $hh/m^2$	r	i
MOA	42	1,07	5,71	6,78	0,19	2,58
GFH	28	12,00	6,00	18,00	2,00	0,93
BP	40	3,20	8,00	11,20	0,40	1,12
RB	42	0,01	14,29	14,29	0	0,49
QH	42	5,71	14,29	20,00	0,40	0,35
CE	36	2,22	13,33	15,56	0,17	0,48
CF	40	0,00	16,80	16,80	0,0	0,35
ST	70	2,67	34,29	36,95	0,08	0,08

Tabela 2: Tabela de avaliação do processo de fabricação

O gráfico da figura 44 relaciona o tempo total T ( $t_1 + t_2$ ) necessário para a produção de um metro quadrado de área habitável, desde os trabalhos em fábrica até a finalização dos trabalhos em canteiro de obras. Nota-se que a tecnologia QH possui um valor alto de T, apresentando, praticamente, todos os elementos da industrialização, de acordo com o item 2.1.3. Essa empresa não desenvolveu apenas a concentração da produção devido ao mercado disperso, possuindo, no momento da pesquisa, poucas unidades produzidas.

Por outro lado, a tecnologia ST apresenta o maior número de T. As atividades desempenhadas em obra são consideradas de natureza artesanal e executadas igualmente de acordo com a tecnologia do sistema tradicional em alvenaria de blocos cerâmicos. A semelhança da natureza das atividades justifica esse valor, pois verifica-se uma grande quantidade de mão-de-obra em canteiro ( $t_2$ ), como é verificado na tabela 2, a qual se caracteriza por um processo de produção completo, ou seja, transformação do material bruto em produto acabado (edificação) (DUARTE, 1982).

Por outro lado, os sistemas construtivos MOA e BP apresentam os menores valores de mão-de-obra necessária para a produção de um metro quadrado de área habitável, pelo fato de possuírem processos de fabricação e montagem muito semelhantes, conforme descritos no capítulo 5. Esses casos explicam-se pelo fato da mão-de-obra apresentar características de natureza industrial, ou seja, a mesma desempenha, dentro da fábrica, atividades pouco especializadas, mas desenvolvidas, de

acordo com os elementos da industrialização, de modo que ela se desloca de um equipamento a outro, realizando operações simples na conformação dos componentes. Em canteiro de obras, os operários desempenham atividades de simples montagem de placas e pilares pré-fabricados na conformação da edificação, sem a necessidade do uso de mecanização, por possuírem elementos de baixo peso.

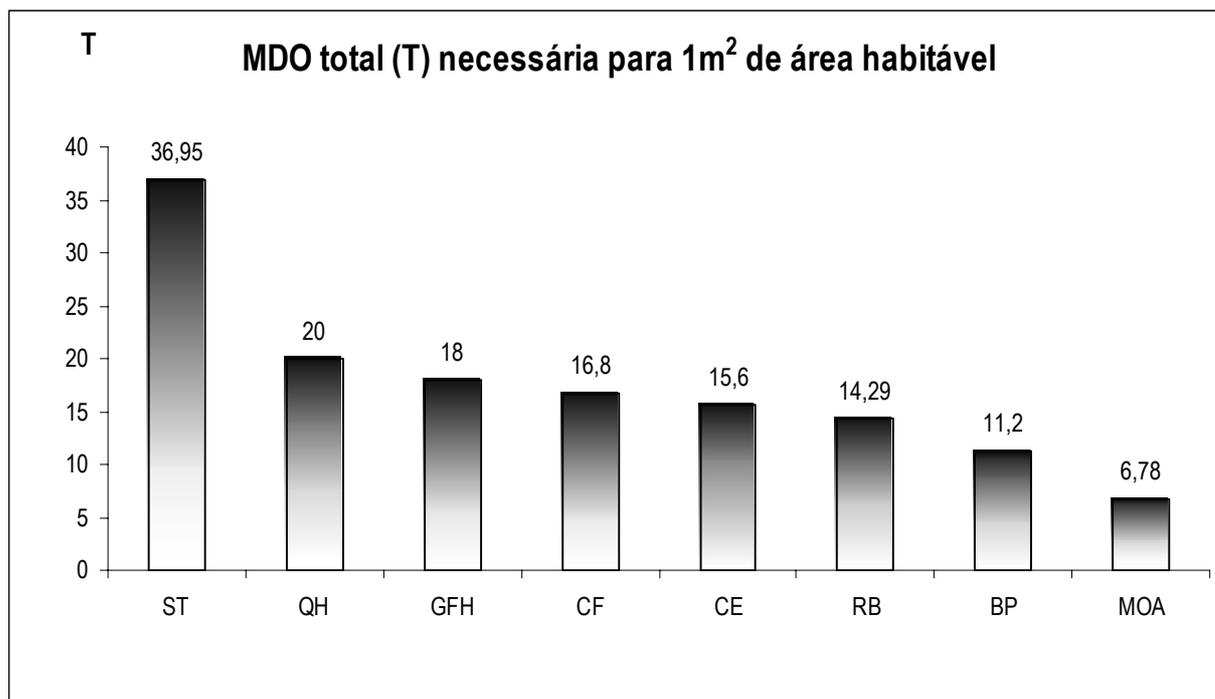


Figura 44: Mão-de-obra total (T) necessária para 1m<sup>2</sup> de área habitável

O sistema construtivo CE apresenta, de forma desenvolvida, a sistematização dos produtos, com a produção de painéis pré-moldados de concreto armado; apresenta, também, a especialização da mão-de-obra, com atividades simples, de conformação dos componentes e de simples montagem em canteiro, além da mecanização, por possuir elementos pesados, que necessitam de equipamentos de multiplicação de força, por apresentarem um elevado consumo de mão-de-obra, devido à dispersão da concentração da produção, que não é desenvolvida. Esse é um fator que pode influenciar negativamente na produtividade dos operários. Por outro lado, verifica-se que, mesmo com esse valor, a tecnologia apresenta mais que o dobro da produtividade em relação ao sistema construtivo ST, sendo, este último, considerado com atividades de natureza artesanal.

Além disso, deve-se destacar o sistema construtivo GFH pelo fato de apresentar o terceiro maior valor de mão-de-obra total. Ocorre que o sistema construtivo necessita de maior especialização dos operários nas atividades desempenhadas em fábrica, consideradas parcialmente industrializadas. A tecnologia caracteriza-se, como foi descrito no capítulo 5, pelo beneficiamento da madeira para a conformação da estrutura dos painéis e da necessidade de conhecimento na produção das chapas de

fibra de vidro. Já os trabalhos em canteiro de obras requerem menos mão-de-obra, devido às atividades serem de montagem dos elementos. Esse aspecto reflete diretamente na relação entre as atividades industrializadas, desempenhadas em fábrica, e as artesanais, em canteiro de obras ( $r$ ), apresentando o maior valor dessa relação, conforme a figura 45. Considera-se, portanto, que quanto maior for esse valor, haverá maior número de atividades de natureza industrial na fabricação de componentes e montagem, em detrimento das atividades artesanais.

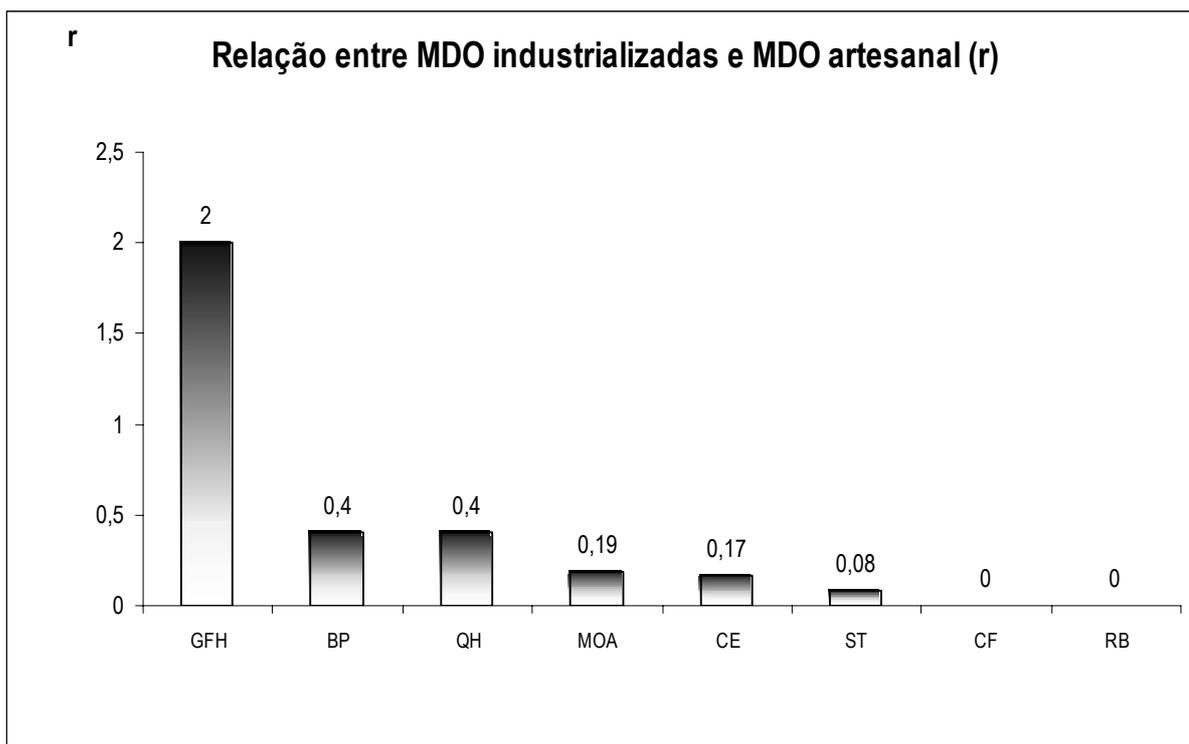


Figura 45: Relação entre mão-de-obra (MDO) considerada industrial e mão-de-obra artesanal ( $r$ )

Com relação aos sistemas construtivos CF e RB, que pertencem à indústria do PVC, os mesmos apresentam valores de  $r$  iguais a zero. Isso ocorre devido à produção de alguns componentes ser realizada em grande escala. As mesmas possuem, então, tempos de produção, para um metro quadrado de área habitável muito pequenos, como foi mencionado anteriormente.

Outro item que merece ressaltar em relação a um baixo valor de  $r$  é o resultado medido para o sistema construtivo ST, como reflexo da baixa produtividade apresentada nas atividades desempenhadas em obra. Isso significa, como se afirmou anteriormente, pelo fato de existirem apenas atividades de natureza artesanal, ou seja, por representar um processo de produção completo, do material bruto ao produto acabado.

A tecnologia MOA, que obteve o menor valor de  $T$ , apresenta a segunda maior relação entre mão-de-obra empregada em atividades industrializadas sobre as atividades artesanais, assim como a

tecnologia QH obteve o mesmo valor que BP para essa mesma relação. Esse fato justifica-se pela produtividade desempenhada em fábrica que se sobrepõe às atividades realizadas em obra, mesmo considerando que essa última é semindustrializada. Além disso, a mão-de-obra utilizada na produção dos componentes em fábrica da tecnologia QH é tida parcialmente industrializada, assim como a GFH, pois as atividades desempenhadas nesta fase requerem conhecimentos específicos de serralheria e carpintaria, respectivamente.

Com relação ao índice de produção industrial ( $i$ ) medido, pode-se notar que o sistema construtivo MOA apresenta o maior valor, seguido das tecnologias BP, conforme é mostrado na figura 46. Esse fato é resultado da baixa necessidade de mão-de-obra  $T$ , que tem, no seu processo de produção, tanto em fábrica como em obra, atividades de natureza industrial, apesar de não terem sido desenvolvidos todos os elementos da industrialização na construção, os quais serão discutidos conjuntamente no item 6.1.2. Já a tecnologia GFH possui um nível intermediário se comparado com as anteriores, devido ao fato de suas atividades em fábrica serem parcialmente industrializadas, como foi mencionado anteriormente.

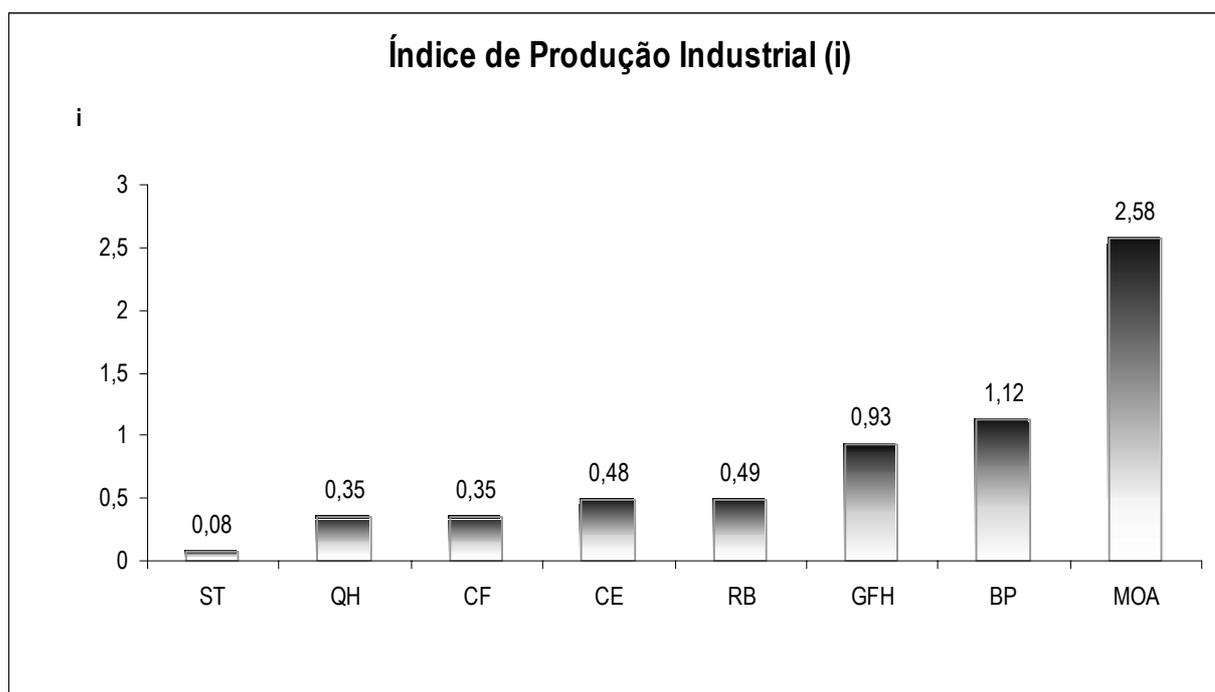


Figura 46: Índice de produção industrial

Por outro lado, a tecnologia ST, novamente, sai em desvantagem, pois tem como principal causa a natureza das atividades, citada anteriormente, ficando, assim, com o pior desempenho no índice de produção industrial. Já os sistemas construtivos QH, CE e RB possuem um nível constante desse índice. O primeiro tem, como foi descrito no capítulo 5, atividades de montagem em todos os seus processos de produção (fábrica e canteiro), mas, por ter desenvolvido parcialmente a especialização da

mão-de-obra, mencionado anteriormente, não tem condições de estabelecer uma produção contínua de componentes, o que resulta numa baixa produtividade em fábrica. As atividades dessas, desempenhadas em obra, são consideradas como parcialmente industrializadas, com racionalizações em alguns subsistemas, de acordo como foi descrito no capítulo 5.

Através dessa avaliação, pode-se afirmar que o sistema construtivo, que melhor se enquadra na industrialização na construção, através dos elementos de sistematização dos produtos, da especialização da mão-de-obra, da concentração da produção e mecanização é o MOA. O mesmo possui o maior número de índice de produção industrial e de mão-de-obra total, além de ter a segunda maior relação entre mão-de-obra considerada industrial e mão-de-obra artesanal. Por outro lado, o sistema construtivo ST mostrou-se ineficiente com relação aos elementos da industrialização, verificando-se os menores resultados na avaliação.

Com esses resultados pode-se fazer uma classificação preliminar dos sistemas construtivos investigados, ao verificar-se a presença dos elementos da industrialização na construção no processo de fabricação dos subsistemas dos sistemas construtivos. Eles são classificados através de três níveis, quais sejam: artesanal, parcialmente industrializado e totalmente industrializado. O apêndice 3 apresenta a lista de verificação da incidência dessas variáveis, sendo que a relação das tecnologias mais desenvolvidas estão apresentadas no quadro 12.

<b>CLASSIFICAÇÃO PRELIMINAR PELO PROCESSO DE FABRICAÇÃO</b>	
<b>Sistema Construtivo</b>	<b>Classificação Preliminar</b>
MOA	Parcialmente industrializado
BP	Parcialmente industrializado
CE	Parcialmente industrializado
GFH	Parcialmente industrializado
QH	Parcialmente industrializado
CF	Parcialmente industrializado
RB	Parcialmente industrializado
ST	Artesanal

Quadro 12: Classificação preliminar dos sistemas construtivos pelo processo de fabricação

No apêndice 3 pode-se evidenciar a evolução dos subsistemas através da classificação dos três níveis citados anteriormente. Aqueles que estão em branco representam os subsistemas que não apresentaram nenhuma evolução. Por outro lado, pode-se notar que as evoluções ocorreram, principalmente, nos subsistemas estrutura, envelope, divisórias e revestimento, tanto em trabalhos em fábrica como em canteiro de obras, além de mudanças com características de total industrialização. Essas características são resultado da aplicação dos elementos da industrialização, verificando-se que os mais desenvolvidos são a sistematização dos produtos e especialização da mão-de-obra. O elemento de concentração da produção é parcialmente desenvolvido pelos sistemas construtivos, ou

não aplicados, devido a dispersão do mercado de cada empresa. Já com relação ao elemento mecanização, esse é aplicado apenas pelos sistemas construtivos CE e QH, os quais possuem componentes pesados.

A tecnologia QH, em particular, é a que mais se destaca na evolução dos subsistemas, pois incorpora três elementos da industrialização: sistematização, especialização da mão-de-obra e mecanização. A primeira relaciona-se com a padronização dos elementos produzidos em fábrica, onde são confeccionados praticamente todos os subsistemas, entre os quais se destaca a fabricação do subsistema cobertura, que sai da fábrica praticamente conformado, como mostra sua descrição da cobertura, no capítulo 5. A segunda, por sua vez, é desenvolvida parcialmente devido à necessidade de conhecimento específico em serralheria na conformação de alguns elementos, sendo que o restante das atividades se resumem na montagem dos mesmos. A mecanização é desenvolvida, pois o peso dos elementos requerem equipamentos de transporte para a movimentação e montagem dos mesmos. Como mencionado anteriormente, a concentração da produção não é aplicada devido à dispersão do mercado da empresa, limitando-se à construção de casas isoladas.

### 6.1.2 Avaliação das tecnologias pela sistematização do produto

A avaliação dos sistemas construtivos investigados pela sistematização do produto é realizada através da aplicação da matriz de avaliação da figura 5, apresentada no item 3.1.4, que relaciona os subsistemas das tecnologias com os conceitos da sistematização do produto, apresentados no mesmo item, fazendo uma análise qualitativa do desempenho das tecnologias diante de tais conceitos. Toma-se como referência a avaliação do sistema construtivo tradicional em alvenaria ou em madeira, realizada por Duarte (1982), para identificar as possíveis evoluções nos subsistemas das tecnologias analisadas.

A evolução das tecnologias dá-se através da análise dos subsistemas funcionais, classificando-os em três níveis de avaliação:

- Nível 1: subsistema transformado (ou evoluído), com a utilização plena dos conceitos da sistematização nos subsistemas;
- Nível 2: subsistema parcialmente transformado (ou parcialmente evoluído), ou seja, utilização parcial dos conceitos da sistematização nos subsistemas;
- Nível 3: subsistema tradicional (não transformado), semelhante ao subsistema de uma edificação tradicional de alvenaria ou madeira.

Identifica-se a evolução tecnológica dentro de um subsistema através do preenchimento da matriz de avaliação, sendo que a intensidade cresce da esquerda para a direita, indicando a presença cada vez mais intensa dos conceitos da sistematização dos produtos. A figura 47 apresenta a matriz de avaliação dos sistemas construtivos investigados.

O preenchimento da matriz de avaliação mostra que grande parte das evoluções ocorrem, principalmente, nos subsistemas estrutura, envelope, divisória e revestimento, os quais estão ligados diretamente com a produção completa em fábrica e montados em canteiro de obras. Os sistemas construtivos que apresentaram essa evolução são BP, GFH, CE, MOA e QH. Os subsistemas citados são caracterizados como subsistemas transformados (ou evoluídos) e os restantes são considerados parcialmente evoluídos ou artesanais. Os sistemas construtivos CF e RB apresentam as mesmas evoluções nos subsistemas que os anteriores, mas com a diferença de que se caracterizam por subsistemas parcialmente transformados. A tecnologia ST apresenta poucas evoluções, as quais são pontuais em alguns conceitos da sistematização, limitada a mudanças no subsistema estrutura, que se apresenta padronizada, componentizada e pré-fabricada, além de conter evolução na cobertura, executada juntamente com a estrutura.

Constata-se que poucas evoluções ocorrem no subsistema fundações, sendo que as maiores mudanças se destacam pela padronização do tipo de fundação. Ou seja, os subsistemas que utilizam componentes leves, por exemplo, ST, CF, RB, BP, MOA e GFH utilizam a técnica de fundação em radier, devido à baixa incidência das cargas da edificação. Por outro lado, as tecnologias, que são consideradas pesadas (CE e QH), utilizam fundações que devem ser previamente dimensionadas, de acordo com o tipo de solo.

A evolução que mais se destaca nessa avaliação é a que ocorre com o subsistema cobertura da tecnologia QH. Como pode ser visto na descrição desse subsistema, ele é produzido em fábrica, chegando pronto até o canteiro de obras para ser montado. Nota-se que a evolução ocorre em todos os conceitos da sistematização, configurando um subsistema transformado.

As evoluções ocorridas nos subsistemas, com características parcialmente transformadas, configuram modificações na forma de produzir os componentes. Isto é, através da simples utilização de medidas de racionalização, tanto no projeto como na execução, interferem em uma maior eficiência na conformação do produto final, a edificação (DUARTE, 1982). Tais evoluções podem ser notadas nas tecnologias CF e RB, as quais possuem a padronização dos elementos que compõem os subsistemas estrutura, envelope e divisórias, produzidas num sistema automatizado e em grande escala, não



Além disso, vê-se que os subsistemas instalações elétricas e hidrossanitárias também encontram-se racionalizados, devido à execução ser feita juntamente com a colocação dos perfis e utilizando, no caso da primeira, chicotes padronizados para simples conexão aos dispositivos elétricos.

A tecnologia ST poderia utilizar algumas medidas de racionalização na produção das edificações a partir do projeto, possibilitando menor número de variações em canteiro de obras bem como permitir uma maior eficiência na execução da edificação. Tais medidas trariam benefícios, juntamente com a antecipação da execução do subsistema cobertura, que é feito com a estrutura, a fim de aumentar a gama de aplicação dos conceitos da sistematização dos produtos.

As tecnologias BP e MOA compreendem em sistemas construtivos análogos no que diz respeito à sua origem na produção dos seus componentes, ou seja, eles partem da pré-fabricação de pilares e placas em concreto para a conformação da estrutura, envelope e divisórias. A primeira optou agregar, na produção das placas, um resíduo industrial proveniente da remoldagem de pneus e por executar divisórias em madeira, visando a diminuição dos custos, diminuindo, também, o número de componentes produzidos em fábrica. Já a segunda, por sua vez, possui a completa fabricação dos subsistemas citados, todos montados em obra, ao contrário da anterior que necessita realizar trabalhos de conformação da madeira em obra. Tais medidas fazem com que o sistema construtivo BP obtenha menor desempenho diante dos conceitos da sistematização aplicados na matriz de avaliação.

A tecnologia CE, apesar de constituir-se num sistema construtivo pré-moldado em concreto armado, não utiliza em nenhum dos seus subsistemas a coordenação modular ou dimensional. Os painéis correspondem a dimensões máximas de 6 metros, os quais podem variar de acordo com a função e aplicação dos mesmos e com juntas verticais apenas nos encontros de paredes. As instalações são embutidas nos painéis e concretadas, de acordo com projeto previamente estabelecido.

Como se afirmou anteriormente, ocorreram evoluções basicamente nos subsistemas estrutura, envelope, divisórias e revestimentos. Por outro lado, nota-se a padronização e a componentização da cobertura, sendo que a estrutura desse subsistema é produzida em fábrica. Isso elimina o processamento da madeira no canteiro de obras e diminui, assim, a necessidade de mão-de-obra específica para esse fim.

Através da análise qualitativa da avaliação das tecnologias pela sistematização dos produtos, pode-se verificar que o melhor desempenho é atribuído ao sistema construtivo QH, devido à grande parte dos subsistemas terem contemplado os cinco conceitos da sistematização. O mesmo, como visto anteriormente, possui grande parte da produção dos componentes realizada em fábrica,

conseqüentemente, em canteiro de obras ocorrem apenas trabalhos de montagem dos mesmos e acabamentos pontuais.

Por outro lado, a tecnologia ST saiu-se em desvantagem por ter desenvolvido apenas evoluções isoladas, pois a maioria das atividades são desempenhadas tradicionalmente. Porém, através dessas evoluções pode-se obter vantagens na execução, como, por exemplo, a finalização da cobertura em conjunto com a estrutura, antes da execução do envelope e das divisórias, o que permite trabalhar em condições adversas ao tempo.

Assim, pode-se afirmar que as tecnologias investigadas podem ser classificadas, preliminarmente, com sistematização intermediária, de acordo com o quadro 13, considerando-se os conceitos abordados na construção da matriz. Já o sistema construtivo ST é considerado como tradicional, mesmo com suas vantagens, devido ao não desenvolvimento dos requisitos em seus subsistemas.

<b>CLASSIFICAÇÃO PRELIMINAR PELA SISTEMATIZAÇÃO DOS PRODUTOS</b>	
<b>Sistema Construtivo</b>	<b>Classificação Preliminar</b>
QH	Sistematização intermediária
CE	Sistematização intermediária
MOA	Sistematização intermediária
BP	Sistematização intermediária
GFH	Sistematização intermediária
CF	Sistematização intermediária
RB	Sistematização intermediária
ST	Tradicional

Quadro 13: Classificação preliminar pela sistematização dos produtos

No item seguinte realiza-se uma classificação geral dos sistemas construtivos investigados. Leva-se em conta o processo de fabricação e a sistematização dos produtos, como forma de fechamento global do método de avaliação e considera-se os conceitos da industrialização na construção de habitações.

### 6.1.3 Classificação das tecnologias relacionando o processo de fabricação com a sistematização do produto

De acordo com o gráfico sugerido por Turner; Turner (1972) apud Duarte (1982), apresentado na figura 4, são classificados os sistemas construtivos investigados. Nessa figura, considera-se na linha vertical a avaliação das tecnologias pelo processo de fabricação, com a classificação artesanal, parcialmente industrializada e totalmente industrializada. Na linha horizontal, por sua vez, alocam-se a classificação das tecnologias em tradicional, sistematização intermediária e alta sistematização para a avaliação da sistematização dos produtos.

Na referida figura, o autor mostra que a célula central do gráfico corresponde à área necessária para o estágio da evolução dos sistemas construtivos nos países desenvolvidos (TURNER; TURNER, 1972 apud DUARTE, 1982). Tal classificação não impede que sejam alocadas as tecnologias investigadas pelo trabalho, mostrando a realidade em que a construção de habitações com sistemas construtivos não-convencionais se encontram, atribuindo-lhes a classificação de sistematização intermediária com industrialização parcial.

Portanto, a figura 48 apresenta tal classificação e constata que a maioria dos sistemas construtivos investigados estão alocados na célula central do gráfico. Por outro lado, apenas uma tecnologia foi considerada com sistematização dos produtos tradicionais e com processos de fabricação artesanal, acompanhados pelo sistema convencional de construção.



Figura 48: Processo de fabricação comparado com a sistematização dos produtos

A tecnologia ST é considerada como sistematização tradicional e processo de fabricação artesanal pelo fato de ter desenvolvimentos isolados no seu processo de fabricação, tanto em fábrica como em obra. Apenas os subsistemas estrutura e cobertura são realizados em fábrica. Já a segunda é realizada, parcialmente, e caracterizada pela padronização e componentização das mesmas. Além disso, o processo de fabricação em obra requer a maior quantidade de tempo por metro quadrado construído, com relação às outras tecnologias. Configura-se, assim, uma baixa produtividade da produção, e tem como causa principal a natureza artesanal das atividades. Tal processo se caracteriza pela execução de alvenaria convencional, instalações elétricas e hidrossanitárias e dos outros subsistemas, bem como a transformação quase que completa do material bruto em produto final (edificação). A aplicação dos

conceitos da industrialização nessa tecnologia mostra-se isolada. A sistematização dos produtos é identificada apenas na produção da estrutura e na concentração da produção, por possuir empreendimentos em execução no momento da pesquisa.

As tecnologias MOA e BP apresentam sua produção de forma semelhante, que se caracteriza por pré-fabricação de pilares e placas em concreto. A primeira possui uma variedade maior de elementos que a segunda tecnologia por caracterizar sistemas leves, classificados como sistematização intermediária e parcialmente industrializada. O sistema construtivo MOA tem incorporado três conceitos da industrialização: sistematização dos produtos, especialização da mão-de-obra e concentração da produção. A primeira diz respeito à padronização dos elementos de quase todos seus subsistemas, destacando-se a estrutura, envelope, divisórias, revestimentos e cobertura por serem totalmente industrializados. A segunda, por sua vez, mostra-se desenvolvida, embora a mão-de-obra desempenhe, em fábrica, tarefas simples, não necessitando, assim, de conhecimentos específicos, e, em canteiro, dá-se apenas a montagem dos elementos pré-fabricados. Na terceira, a produção em fábrica mostra-se concentrada, pois produz quantidades consideráveis para a demanda dos empreendimentos desenvolvidos pela empresa. Já a sistematização dos produtos está presente quando constatada a evolução dos mesmos subsistemas, através da padronização, componentização, coordenação modular e dimensional e a pré-fabricação que se dá pelo nível mais alto dessa avaliação, conforme a figura 47.

Já a tecnologia BP possui também os mesmos conceitos da industrialização desenvolvidos e citados anteriormente, cujos subsistemas estrutura e envelope apresentam-se evoluídos. As divisórias são conformadas e executadas em canteiro de obras, além da estrutura da cobertura mostrar-se padronizada e componentizada. Esta é apenas montada em obra, mas não é desenvolvida e dimensionada a coordenação modular, caracterizando-se como subsistemas parcialmente transformados.

As tecnologias CF e RBI também são consideradas com sistematização dos produtos intermediária, por apresentarem um nível parcialmente transformado nos subsistemas estrutura, envelope e divisórias. Além disso, houve evoluções, da mesma forma como em alguns conceitos isolados em outros subsistemas, caracterizados pela adoção de medidas de racionalização da produção em canteiro de obras, as quais possibilitam melhor desempenho na execução das atividades. Pode-se observar a inserção dos eletrodutos entre os perfis das paredes antes da consolidação com concreto. O processo de fabricação das edificações desses sistemas construtivos foram considerados como sendo parcialmente industrializados, pelo fato de apresentarem desenvolvidas a sistematização, a

especialização da mão-de-obra e a concentração da produção, sendo o último RB não foi considerado no momento da investigação, visto que, o mesmo não possuía obras em andamento, porém com capacidade de desenvolvê-los.

O sistema construtivo GFH apresenta evoluções significativas comparadas com o sistema tradicional em madeira, considerado como sendo de sistematização intermediária e processo de fabricação parcialmente industrializado. Os subsistemas transformados são a estrutura, o envelope e as divisórias, essas conformadas em fábrica, através do beneficiamento da madeira, para a estrutura e da produção de chapas de fibra de vidro para o envelope, montados em canteiro de obras. Para as divisórias, são conformadas chapas de madeira, para paredes de espessura simples, ou estruturadas, para paredes duplas. Outro destaque dessa tecnologia é a transformação parcial do subsistema revestimento, o qual recebe acabamento final em obra, além da componentização da estrutura da cobertura. Com relação ao processo de fabricação, o mesmo mostra-se desenvolvido na sistematização dos produtos, padronizando componentes, mão-de-obra especializada em canteiro de obras, pelo simples trabalho de montagem dos elementos e com possibilidade de desenvolvimento da concentração da produção, visto que, no momento da investigação, a empresa não dispunha de obras em andamento.

A tecnologia CE, por sua vez, também foi considerada como sendo de sistematização intermediária e processo de fabricação parcialmente industrializado. A avaliação mostra que existe a aplicação da sistematização dos produtos, pois a mesma fabrica grandes painéis pré-moldados. Por outro lado, apresenta mão-de-obra especializada, que desempenha atividades simples dentro de fábrica, e de montagem em obra. Utiliza, também, intensa mecanização, por possuir a característica de sistema construtivo pesado. Além disso, a mesma teria condições de ser classificada como totalmente industrializada se tivesse desenvolvido a concentração da produção. Já no que diz respeito à sistematização dos produtos, a tecnologia apresenta a transformação parcial dos subsistemas estrutura, envelope e divisórias, pois não utiliza os conceitos de coordenação modular e dimensional. A par disso, ela mostra o desenvolvimento parcial do subsistema cobertura, por utilizar lajes pré-moldadas e pela montagem em obra do restante do telhado da edificação, além de racionalizar as instalações elétricas e hidrossanitárias, as quais vem embutidas nos painéis.

Por fim, o sistema construtivo QH representa, juntamente com o anterior, as melhores evoluções considerando os conceitos da industrialização na construção. A tecnologia apresenta desenvolvida a sistematização dos produtos, através da conformação de quase todos os subsistemas em fábrica; a especialização da mão-de-obra, com atividades de simples montagem da edificação em obra e com algumas atividades específicas, com necessidade de maiores conhecimentos em fábrica; a

mecanização da produção, pelo fato dos elementos serem pesados. E, como na tecnologia anterior, teria condições plenas de desenvolver a concentração da produção, que seria considerada como um processo de fabricação totalmente industrializado. Por outro lado, o sistema construtivo é classificado como sendo de sistematização intermediária e com processos de fabricação parcialmente industrializado. A matriz de avaliação mostra que grande parte dos subsistemas apresenta total evolução, responsável pela transformação mais marcante na produção da cobertura, a qual chega parcialmente montada à obra, para fixação na estrutura da edificação.

Através dessa análise, conclui-se que os sistemas construtivos analisados apresentam bom desempenho diante das variáveis avaliadas pelo método. Isso significa dizer que, diante dos conceitos da industrialização na construção de habitações, as tecnologias se enquadram na área necessária para a evolução dos sistemas construtivos, de acordo com Turner; Turner (1972) apud Duarte (1982).

Conforme discussão anterior, as tecnologias CE e QH só não foram consideradas como processo de fabricação totalmente industrializado, pelo fato do mercado em que estão inseridos ser muito disperso, limitando-se a produzir edificações isoladas. Além disso, a situação atual da construção civil, que enfrenta uma crise financeira, sem boas perspectivas de aquisição de recursos financeiros, não permite o desenvolvimento acentuado da concentração da produção, o que reflete diretamente no seu desempenho como sistema construtivo industrializado.

## 6.2 AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOB O PONTO DE VISTA DA GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

A coleta dos dados partiu da entrevista inicial, conforme apêndice 1, sendo que a mesma auxiliou na averiguação das principais características de cada tecnologia. Com essa entrevista foi possível identificar as principais cadeias de processos das tecnologias, que resultaram no preenchimento da tabela P1, a qual está exposta no apêndice 2. A mesma compreende a execução de uma casa térrea, pois parte da produção dos componentes em fábrica até a finalização dos trabalhos em obra. Vale lembrar que não foram consideradas as atividades e fluxo dos processos (espera, transporte, inspeção), conforme apresentado no capítulo 3.

De posse da tabela P1 preenchida, partiu-se para a investigação em campo, para a identificação dos processos intrínsecos pertencentes ao ciclo básico de produção (CBP) definidos. Inicialmente, procurou-se visitar as fábricas de cada empresa, para depois visitar as obras, sendo que apenas duas possuíam empreendimentos em execução. Com as outras tecnologias, foram realizadas outras

entrevistas para a identificação dos processos intrínsecos para posterior preenchimento da tabela P2, que se encontra no apêndice 2. As evidências coletadas partiram de registros fotográficos, no momento das observações na fábrica e em obras, e em outras foram necessárias pesquisas nos arquivos das empresas.

O mapeamento do ciclo básico de produção (CBP) de cada sistema construtivo, por sua vez, foram realizados de acordo com os critérios apresentados no capítulo 3, resultando na construção do diagrama adaptado de precedências, apresentado no apêndice 4. É notável que cada diagrama apresenta diferentes características de configuração, refletindo diretamente no indicador de eficiência do desenho do processo (EDP), o qual mede a capacidade de uma tecnologia de executar processos simultâneos, a ser discutido com mais profundidade no item seguinte.

### 6.2.1 Resultados dos indicadores aplicados

Após confeccionadas a tabela P2 e o mapeamento do ciclo básico de produção (CBP), partiu-se para a aplicação das tabelas P3, P4 e P5, a quais auxiliaram no cálculo e análise dos indicadores de desempenho. A tabela P3 consiste na quantificação dos dados, oriundos do diagrama adaptado de precedência de cada tecnologia, referente às variáveis dos indicadores, sendo apresentadas na tabela 3.

Com o número de diferentes materiais (NTM) coletados, realizou-se um levantamento, com o auxílio do responsável técnico de cada tecnologia, no momento das entrevistas. Tais dados listam todos os materiais que são utilizados para a execução do ciclo básico de produção (CBP) e identificados para cada sistema construtivo, sendo que a quantidade de diferentes materiais necessários para o CBP é apresentada na tabela P4, no apêndice 2.

Com a obtenção de todos os dados listados na figura anterior, calculou-se os seis indicadores de desempenho quantitativos e coletou-se os quatro indicadores qualitativos descritos no item 3.2.4 e apresentados, na tabela 4.

A seguir, será realizada uma discussão dos resultados de cada indicador de desempenho aplicado, relacionando-os com os requisitos correspondentes. Os resultados dos indicadores quantitativos são apresentados em gráficos, os quais possibilitam a comparação da eficiência de cada sistema construtivo, com as devidas considerações. Já os indicadores qualitativos, por sua vez, são analisados de modo a identificar os pontos mais interessantes de cada tecnologia.

TABELA P3								
Dados do diagrama de processos referente ao CBP das tecnologias								
Quantitativos	Tecnologias							
	CF	RB	MOA	QH	GFH	BP	CE	ST
n = nº total de níveis de produção	16	17	25	17	20	22	23	24
NPA = nº total possibilidade de alternância de atividades entre níveis	90	73	92	26	32	88	68	49
NTD = quantidade total de Dependências (setas)	52	49	85	58	63	67	71	67
NTA = quantidade total de Atividades	49	47	78	51	57	63	65	61
NTO = quantidade total de operações da tabela P2	113	118	200	105	135	146	152	158
NOR = quantidade operações que se repetem	83	100	172	101	110	122	113	131
NAS = quantidade de atividades feitas separadas	19	20	31	23	30	17	28	16
NTM = quantidade de diferentes materiais utilizados	22	27	35	28	34	43	50	38

Tabela 3: Tabela P3 – dados do diagrama de processos referente ao CBP das tecnologias avaliadas

#### 6.2.1.1 Indicador de eficiência do desenho do processo (EDP)

Como foi apresentado no capítulo 3, esse indicador mede, através do mapeamento do ciclo básico de produção, a capacidade das tecnologias desenvolverem fluxos simultâneos. Isto é, para um desenho dos processos intrínsecos e constantes de produção ser eficiente, deve envolver cadeias de precedências curtas e com vários fluxos simultâneos, numa configuração larga e curta, obtendo-se, no cálculo do indicador, um resultado próximo a um. O indicador relaciona o número de diferentes atividades dos níveis de produção, com o número total de níveis de produção, mapeados no diagrama adaptado de precedências.

Através da figura 49, é possível constatar, portanto, que o sistema construtivo QH obteve o maior valor entre as tecnologias investigadas sendo que a tecnologia BP obteve o valor mais baixo. Nota-se, também, que a variação dos valores não é muito grande, pois as tecnologias possuem vários fluxos de produção simultâneos, como pode ser visualizado no apêndice 4.

Tabela 5								
Indicador	Resultados das tecnologias							
	CF	RB	MOA	QH	GFH	BP	CE	ST
EDP	0,803	0,806	0,813	0,704	0,839	0,764	0,803	0,731
IFR	0,824	0,770	0,731	0,370	0,394	0,753	0,667	0,520
GIP	0,980	0,959	0,940	0,911	0,934	0,969	0,942	0,910
GSP	0,306	0,277	0,40	0,451	0,526	0,270	0,431	0,262
IVM	2,227	1,741	2,229	1,821	1,676	1,75	1,548	1,605
GPO	0,735	0,847	0,860	0,962	0,815	0,836	0,743	0,829

Tabela 4: Tabela P5 – resultados dos indicadores de desempenho de cada tecnologia avaliada

GDM		Cimento, perfil PVC, janela, porta	Cimento, perfil PVC, janela porta, perfil metálico	Cimento, janela, porta, madeira	Cimento, perfil de aço, chapa de aço, chapa de madeira, porta, janela	Madeira, fibra de vibro, polímero cimento, porta, janela	Cimento, madeira, porta, janela	Cimento, madeira, porta, janela	Chapas de aço, portas, janelas, cimento
GHMO	Operações de transporte	70	74	46	51	80	49	79	105
	Operações de locação	31	25	22	24	23	23	24	19
	Operações de conformação	4	2	3	3	4	1	4	3
	Operações de ajuste	6	3	0	2	2	2	3	1
	Operações de acabamento	2	2	1	1	3	1	1	1
GPAE	elementos de nível 1	1	2	1	3	5	4	4	9
	elementos de nível 2	3	3	2	2	2	3	4	2
	elementos de nível 3	6	5	7	10	3	5	7	2
PEC		Escoras metálicas concreto estrutura cobertura	Concreto estrutura da cobertura	Placas, pilares, estrutura da cobertura	Divisórias internas e externas, cobertura	Tijolos, painéis	Pilares, placas, estrutura da cobertura	Painéis de fachada, painéis de oitões, lajes	Perfis metálicos, blocos cerâmicos

Tabela 4: Tabela P5 – resultados dos indicadores de desempenho de cada tecnologia avaliada (continuação)

Conforme o quadro 9, do item 3.2.4, o indicador de eficiência do desenho do processo relaciona-se diretamente com o cumprimento dos requisitos: a) empregar elementos de maior valor agregado; b) separar processos em unidades de produção focalizadas; e c) reduzir o número de processos em série, além de se relacionar, indiretamente, com o requisito de tornar os processos mais independentes uns dos outros.

As tecnologias QH e CE apresentam o melhor desempenho com relação ao primeiro requisito citado anteriormente, apesar do segundo sistema construtivo não se mostrar tão eficiente no desenho do processo. Por outro lado, a agregação de valor aos elementos ocorre na produção dos elementos em fábrica, através da pré-fabricação e da pré-moldagem, respectivamente, de painéis de fachada, os quais já estão previstos em todas as instalações elétricas e hidráulicas. Outra constatação do cumprimento desse requisito está relacionado com o subsistema cobertura, que também é produzido fora do canteiro e, simplesmente, montado em obra, como o descrito no capítulo 5.

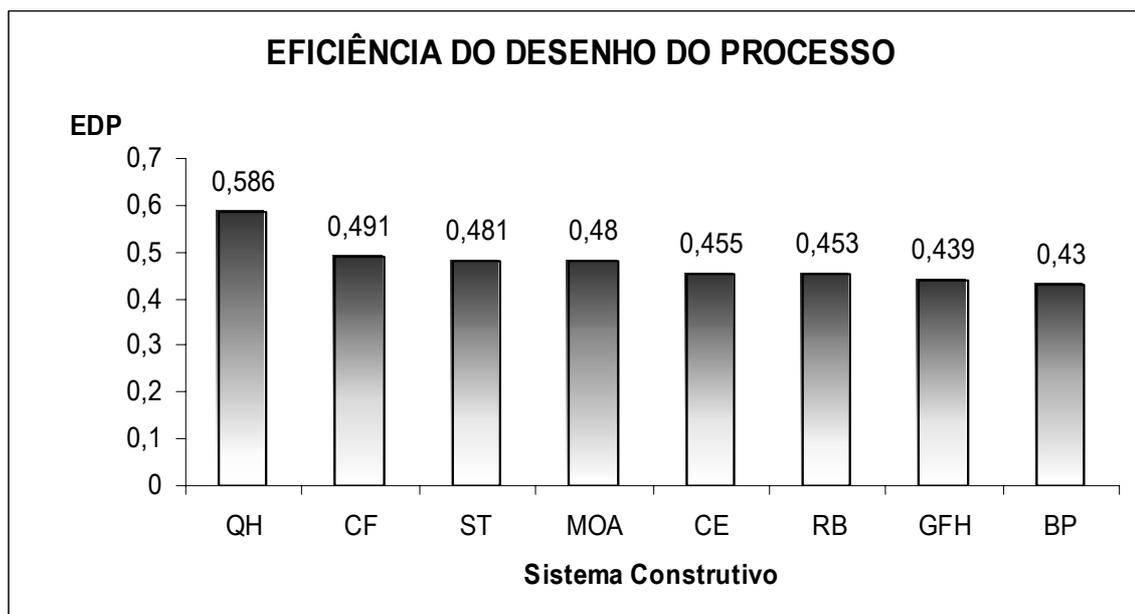


Figura 49: Indicador de eficiência do desenho do processo

A separação dos processos em unidades focalizadas, por sua vez, é realizada, praticamente, por todas as tecnologias investigadas, visto que elas têm definido os locais de produção, quer sejam em fábrica, quer sejam em obra. Os sistemas construtivos QH e GFH apresentam atividades de conversão de materiais em fábrica (corte de madeira e chapa de aço) e de montagem em canteiro de obras. Já as tecnologias CE, MOA e BP apresentam atividades de transformação de materiais em fábrica (produção de concreto) e atividades de montagem, em canteiro de obras. Tais medidas facilitam o aumento da transparência do processo de produção e o cumprimento do requisito de desempenho em questão.

A realização de fluxos simultâneos é visualizada no apêndice 4, através do diagrama adaptado de precedências. O cumprimento do requisito de desempenho de redução dos processos em série relaciona-se com a redução do tempo de ciclo, ou seja, definir a produção com o máximo de atividades com a realização paralela (fluxos de produção), tornando-as mais independentes umas das outras. As tecnologias investigadas apresentam configurações, relativamente, longas e estreitas, refletindo diretamente no valor de cada indicador de eficiência do desenho do processo. Mesmo assim, os sistemas construtivos apresentam-se num patamar mediano de eficiência, pois os resultados obtidos variam entre 0,6 a 0,4, sendo que a eficiência ótima deve ser igual a um.

#### 6.2.1.2 Indicador de flexibilidade de robustez (FR)

Esse indicador mede a capacidade que os fluxos de processos de uma tecnologia de edificação possui e pretende averiguar as alterações no seqüenciamento das atividades, sem que ocorra o aumento das etapas da obra, de acordo com as precedências mapeadas. O cálculo identifica o desempenho

intrínseco da tecnologia, em situações de atraso por causas diversas, na prevenção do tempo total de ciclo de produção e mantém o número total de etapas da construção. De acordo com o quadro 9, esse indicador relaciona-se diretamente com os requisitos com o intuito em possibilitar maior flexibilidade de fluxos de processos e de trabalho. A figura 50 apresenta os resultados obtidos da aplicação desse indicador aos sistemas construtivos investigados.

Percebe-se que a tecnologia CF possui o melhor resultado, enquanto que a QH possui o menor valor calculado. Os dois primeiros sistemas construtivos que tiveram o melhor desempenho caracterizam-se por ser de mesma natureza (indústria do PVC), ou seja, utilizam os mesmos materiais na construção das edificações, assim como o terceiro e o quarto (placas e pilares de concreto pré-fabricado), porém, com características intrínsecas diferentes umas das outras, como pode ser observado no capítulo 5.

Assim, o sistema construtivo possui a capacidade de realizar antecipações de atividades, refletindo diretamente no tempo total da obra e na possibilidade de redução de custos de produção. Tais antecipações podem ser visualizadas na execução da cobertura logo após a finalização da estrutura da edificação, o que ocorre nas tecnologias BP e ST, visto que se evitam atrasos de atividades provocados por mau tempo. Outro exemplo da flexibilidade de robustez é a execução das instalações elétricas antes da concretagem dos perfis das paredes, nos sistemas construtivos CF e RB. Assim, simplifica-se as atividades posteriores, as quais compreendem, apenas, a conexão dos dispositivos a essas instalações.

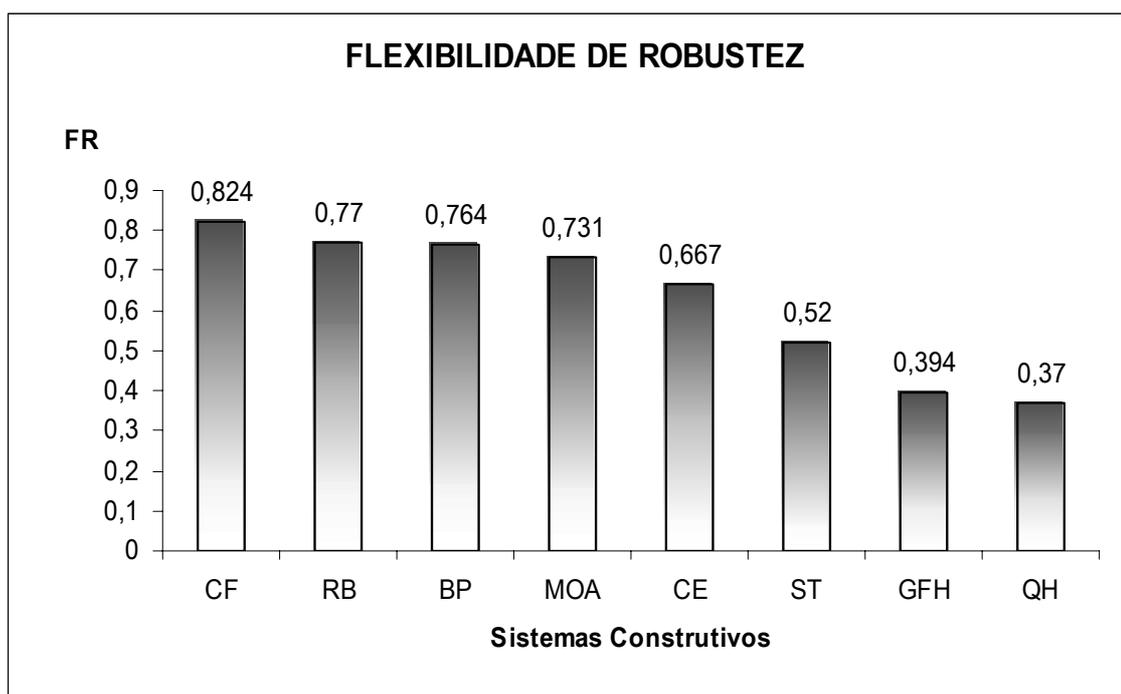


Figura 50: Indicador de flexibilidade de robustez

### 6.2.1.3 Grau de interdependência dos processos (GIP)

Conforme foi descrito no capítulo 3, o indicador de interdependência dos processos mede o grau de dependência entre as atividades do mapeamento dos processos intrínsecos e constantes dos sistemas construtivos. Um valor de GIP próximo a um, representa que a tecnologia possui poucas dependências em relação ao número total de atividades e um valor próximo a zero, por sua vez, relata a condição inversa. A figura 51 apresenta o resultado da aplicação desse indicador aos sistemas construtivos investigados.

Considerando o quadro 9, para o cumprimento dos requisitos de desempenho relacionados a esse indicador, a tecnologia deve possuir a capacidade de tornar os processos mais independentes uns dos outros e de reduzir o número de atividades em série. Dessa forma, pode aumentar a transparência dos processos e reduzir o tempo de ciclo da produção das edificações.

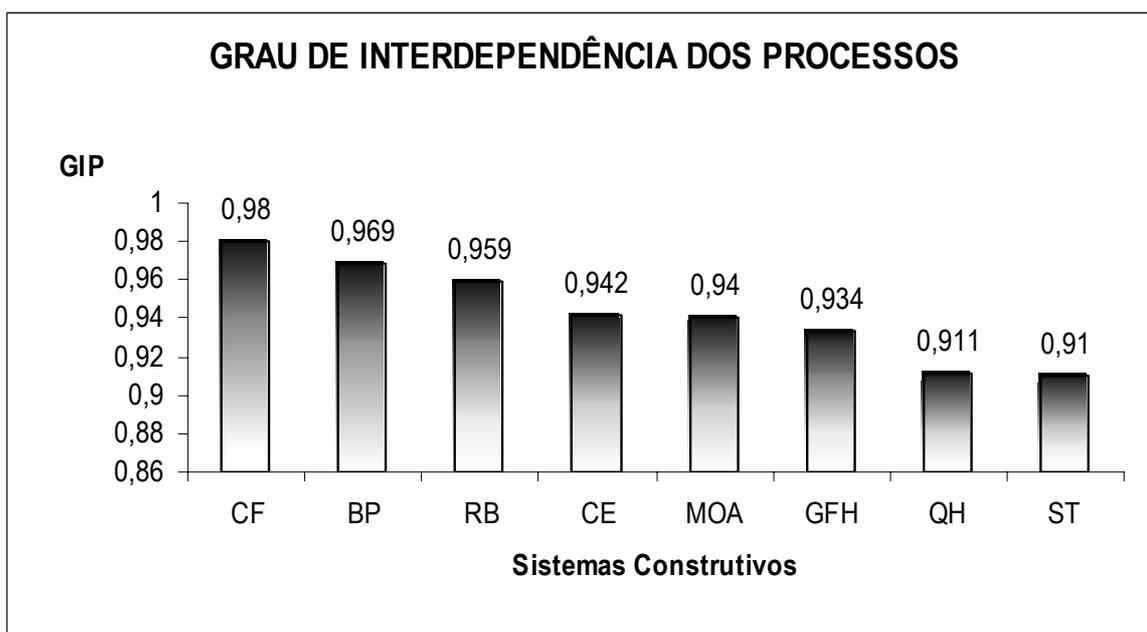


Figura 51: Indicador de grau de interdependência dos processos

Pode-se notar que as tecnologias investigadas possuem um alto grau de interdependência dos processos, destacando-se o sistema construtivo CF, o qual obteve o maior valor calculado. A tecnologia ST, apesar de ser considerada, pela avaliação anterior, como sendo tradicional, obteve bom desempenho nesse indicador, devido a medidas de racionalização adotadas, principalmente, na estrutura e na cobertura, eliminando algumas atividades, como, por exemplo, a produção de formas para estrutura, as quais aumentariam a dependência entre outras atividades.

Além disso, as tecnologias, assim como o indicador de eficiência do desenho do processo (EDP), apresentam grande capacidade de realizar atividades simultâneas e proporciona a diminuição do

tempo de ciclo da construção. Este fator traz uma baixa variação entre os valores calculados (acima de 0,9), o que denota, portanto, boa eficiência no cumprimento dos requisitos de desempenho relacionados com este indicador, além de auxiliar na diminuição das atividades que não agregam valor, visto que, com a diminuição dessas, reduz-se as dependências entre as atividades.

#### 6.2.1.4 Grau de separação física dos processos (GSP)

Esse indicador relaciona a quantidade de atividades que podem ser realizadas separadamente ou distantes do canteiro de obras, com quantidade total de atividades de fluxo e conversão dos processos do ciclo básico de produção. Ele estabelece que, quanto maior o número de atividades realizadas fora da obra, mais eficiente será a tecnologia no cumprimento dos requisitos correspondentes ao quadro 9.

De acordo com esse quadro, o indicador de separação física dos processos está relacionado diretamente com o requisito de desempenho de separar os processos em unidades de produção focalizadas. Além disso, os mesmos podem ser analisados conjuntamente com o indicador de eficiência do desenho do processo, visto que auxiliam na visualização das atividades que não agregam valor no processo de produção.

A figura 52 apresenta os resultados do cálculo desse indicador na análise dos sistemas construtivos, investigados nesta pesquisa. Os mesmos revelam que a tecnologia GFH obteve o melhor desempenho, seguido da QH e CE. Por outro lado, o sistema construtivo ST obteve o pior desempenho, por se tratar de uma tecnologia tradicional, contendo poucas atividades realizadas separadamente do canteiro de obras (apenas estrutura e estrutura do telhado). A maioria das atividades de conversão ocorrem no local de conformação da edificação, sendo difícil separar os processos em unidades de produção focalizadas, por possuírem, assim, muitas dependências de atividades sucessoras, como pode ser notado no indicador anterior, o qual foi considerado, também, como o pior desempenho.

As tecnologias GFH, QH e CE tiveram bom desempenho diante desse indicador devido à grande parte das atividades serem realizadas na fábrica e pela simples montagem dos componentes em obra. A pré-fabricação dos painéis de fachada, divisórias internas e da cobertura compreendem a maioria das atividades, além de estarem prontas para receber o acabamento final em obra. Além disso, há a preparação das instalações elétricas, através da introdução dos eletrodutos nos painéis em fábrica, para a simples passagem da fiação, após a montagem em canteiro de obras. Existe, então, uma integração entre os subsistemas estrutura, envelope, divisórias e instalações elétricas, configurando o atendimento do requisito de diminuição das atividades que não agregam valor ao produto final da edificação.

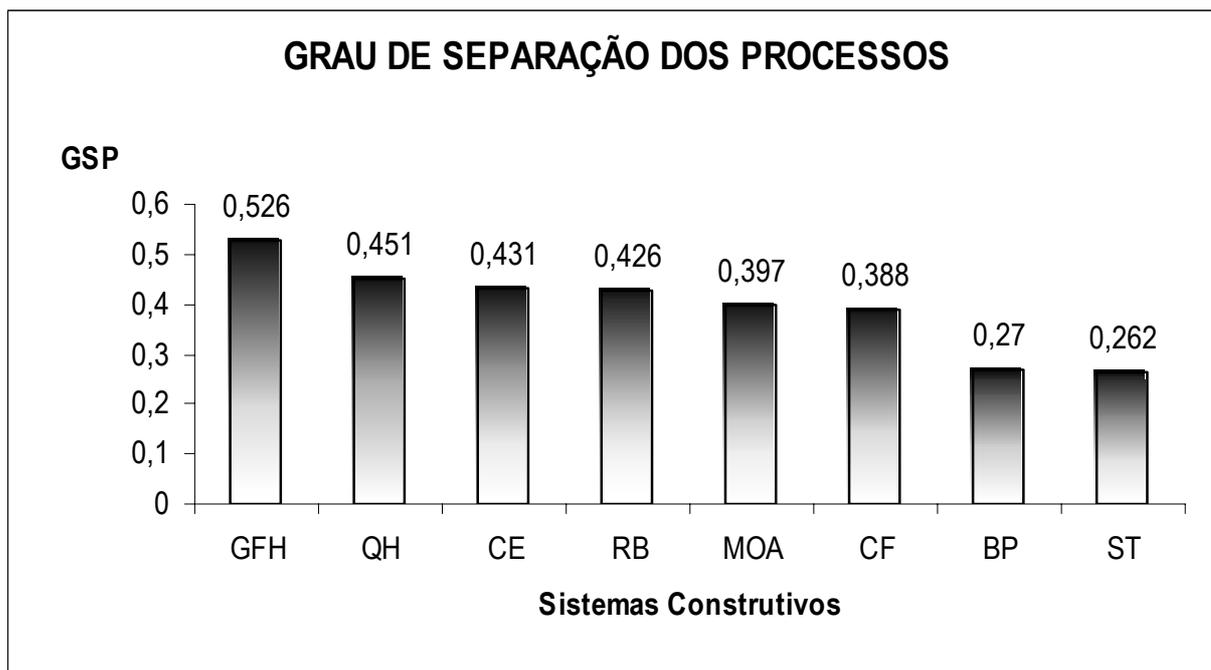


Figura 52: Indicador de grau de separação dos processos

Os sistemas construtivos MOA e BP, apesar de terem várias atividades desempenhadas em fábrica, possuem grande parte das atividades ainda sendo realizadas em canteiro de obras. Diferentemente das anteriores, os componentes para a montagem da edificação são em maior número, necessitando, portanto, da conformação dos subsistemas em obra, sobrepondo-se, assim, às atividades realizadas fora do canteiro de obras, o mesmo ocorrendo com as tecnologias CF e RB.

#### 6.2.1.5 Indicador de variedade de material (IVM)

A medição desse indicador parte da análise do mapeamento realizado com o diagrama adaptado de precedências do ciclo básico de produção (CBP) e da listagem dos diferentes insumos materiais, que esse ciclo utiliza. Quantifica-se o número total desses materiais e relaciona-se com o número total de atividades existentes no processo do mapeamento do CBP. Portanto, valores altos de IVM indicam que existem poucos materiais diferentes no CBP e, por outro lado, valores baixos mostram a situação inversa.

O indicador relaciona-se diretamente com o atendimento do requisito em utilizar menor número de materiais diferentes, de acordo com o quadro 9. Indiretamente, o indicador busca medir o requisito de possibilitar o fornecimento freqüente de recursos por um número menor de fornecedores, além de empregar elementos com maior valor agregado. A figura 53 apresenta os resultados da avaliação das tecnologias por esse indicador.

Os valores que as tecnologias avaliadas apresentaram para IVM mostram uma relativa constância e bom desempenho, com relação aos requisitos de desempenho relacionados. A maioria dos sistemas construtivos utiliza poucos materiais diferentes, reflexo da utilização de elementos com maior valor agregado, como, por exemplo, QH e CE, os quais compreendem a aglutinação de vários subsistemas, como descrito no capítulo 5. Já a tecnologia ST obteve o menor valor de IVM, por envolver um maior número de diferentes insumos materiais e pela maioria das atividades terem características convencionais de execução.

Os sistemas construtivos investigados proporcionam, assim, maior controle nos suprimentos que envolvem a construção das habitações, cumprindo o requisito de utilização do menor número de diferentes materiais. Em virtude disso, o canteiro de obras torna-se menos complexo, pois possibilita maior controle dos suprimentos através da utilização de algum tipo de ferramenta de monitoramento. Como exemplo disso, tem-se o *kanban*, apresentado no capítulo 2, além da possibilidade de formação de parcerias com número menor de fornecedores, evitando atrasos nas entregas e, conseqüentemente, na execução da obra.

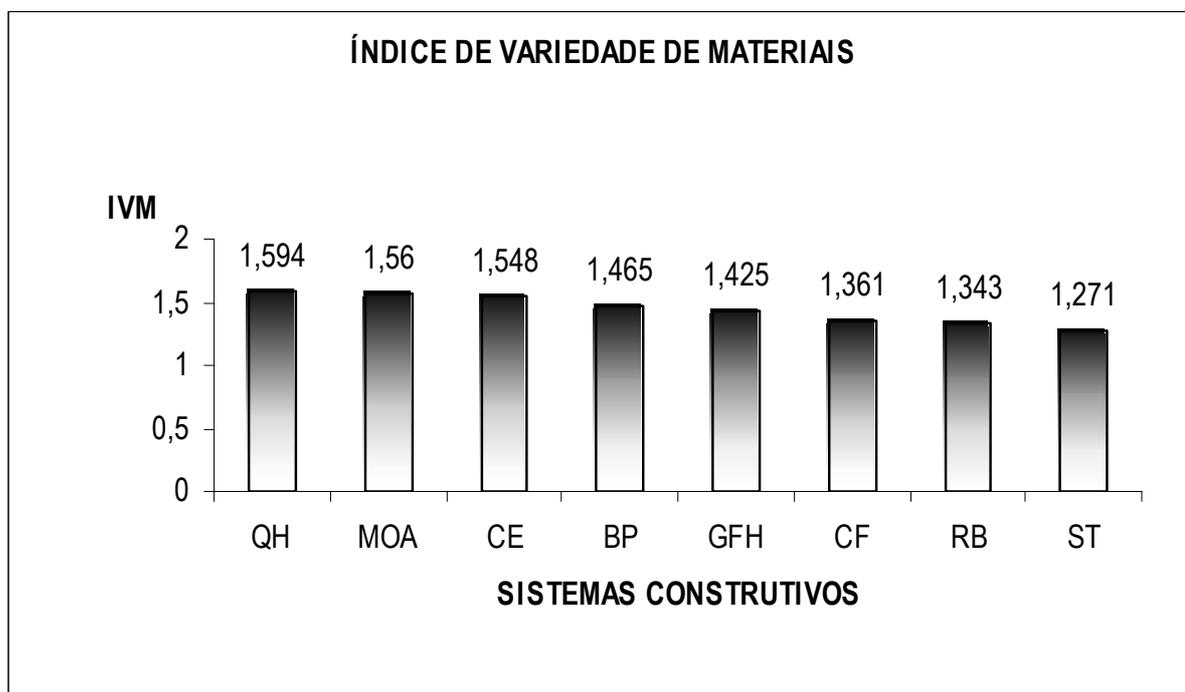


Figura 53: Indicador de índice de variedade de materiais

No apêndice 2 é apresentado um exemplo da tabela P4 para um sistema construtivo investigado, o qual relaciona as atividades que utilizam diferentes materiais, seguido do número total de diferentes materiais (NTM) requeridos pela tecnologia.

### 6.2.1.6 Grau de padronização das operações (GPO)

Esse indicador parte da análise das atividades compostas pelas operações que acompanham os processos intrínsecos e constantes das tecnologias. Para isso são levadas em conta àquelas realizadas mais de uma vez, relacionando-as com todas as operações exigidas pelo ciclo básico de produção (CBP). Além disso, as atividades dos operários, que devem ser consideradas, são aquelas que estão diretamente relacionadas com os processos mapeados. Quanto mais próximo de um for o resultado desse indicador, maior será o número de operações que se repetem na execução da edificação.

Esse indicador está relacionado, de acordo com o quadro 9, com o atendimento do requisito de padronizar componentes e métodos de trabalho para maior simplificação das atividades e operações das tecnologias. A figura 54 apresenta o resultado dos sistemas construtivos investigados.

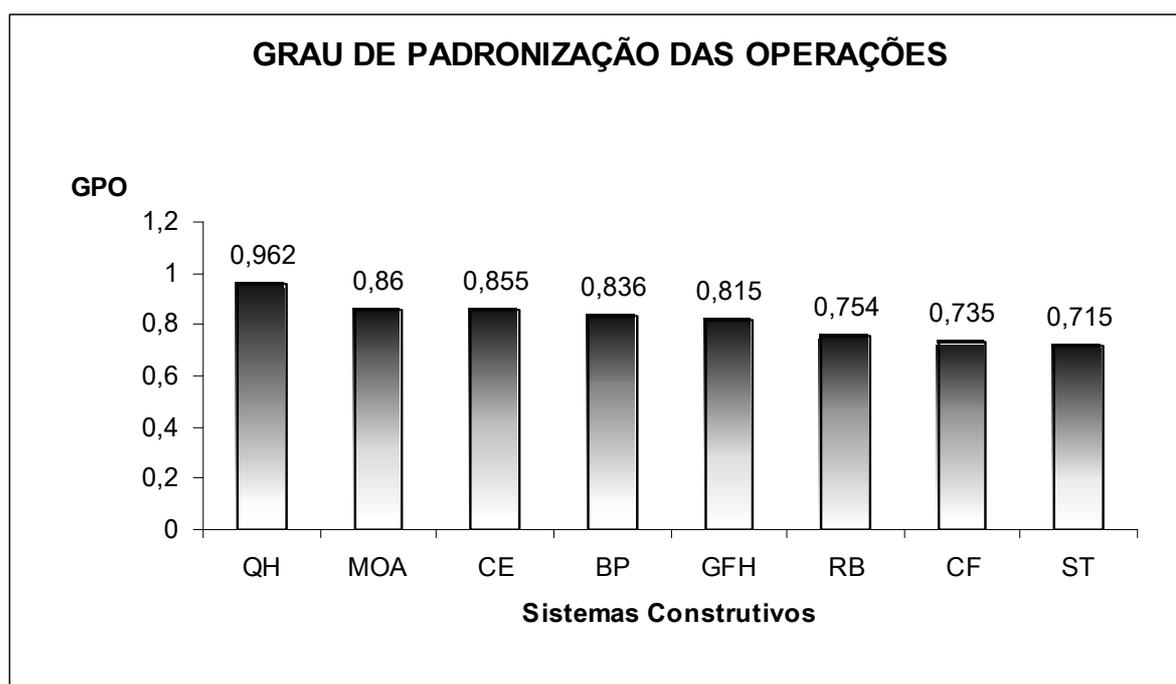


Figura 54: Indicador de grau de padronização das operações

Como pode ser visto na figura anterior, o sistema construtivo QH destaca-se por ter obtido o maior valor do grau de padronização das operações. As tecnologias MOA, CE e BP apresentaram valores constantes devido às atividades terem características semelhantes, por se tratarem da produção e montagem de pré-moldados em concreto. A semelhança nos valores ocorreu, também, para os sistemas construtivos RB e CF, os quais utilizam, praticamente, os mesmos materiais para a construção das edificações, apresentando, apenas, diferenças em algumas atividades.

Através de um grau elevado de padronização das operações, pode-se proporcionar maiores níveis de uniformidade dos fluxos de materiais e operações, contribuindo para a redução da variabilidade na execução das edificações (SAN MARTIN, 1999). Diante disso, os sistemas construtivos avaliados apresentaram resultados satisfatórios, devido à grande parte das atividades serem de simples conformação e por utilizar muitos elementos pré-fabricados e padronizados.

#### 6.2.1.7 Grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos (GPAE)

Diferentemente dos indicadores anteriores, o indicador de grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos é medido de forma qualitativa, através da análise do número de elementos construtivos classificados em um nível mais alto de uniformidade e aglutinação de etapas de produção, apresentados no item 3.2.4.7. Portanto, quanto maior esse número, maior será o grau de padronização e agregação de valor do sistema construtivo.

O indicador GPAE relaciona-se diretamente com o cumprimento dos requisitos de padronizar componentes e métodos de trabalho, de empregar elementos com maior valor agregado e de reduzir o número de etapas da obra, de acordo com o quadro 9. Dessa forma, um grande número de etapas contida no nível 3, determina que maior será o cumprimento desses requisitos.

Na tabela 4 são apresentados os resultados desse indicador, os quais mostram que as tecnologias que possuem características de pré-fabricação dos elementos obtiveram os melhores resultados, por conterem o maior número de elementos alocados no nível 3, sendo elas: QH, MOA e CE. Esse fato contribui para o cumprimento do requisito em empregar elementos de maior valor agregado, devido à aglutinação de grande parte das atividades de conformação da edificação em um subsistema. Como, exemplo, tem-se os painéis de fachada da tecnologia QH, que incluem os eletrodutos, pontos de interruptores e tomadas, janelas, portas e o revestimento externo executados em obra, além de ter a função de suportar as cargas da edificação.

A pré-fabricação dos elementos auxilia na padronização componentes e métodos de trabalho, simplificando a execução da edificação. Isso se dá através da simples montagem dos elementos, não necessitando de mão-de-obra especializada. Além disso, as atividades tornam-se definidas e racionalizadas, pois permitem o aumento da transparência das mesmas, pela redução do número de etapas da obra.

Num nível intermediário de cumprimento dos requisitos relacionados com esse indicador, estão as tecnologias BPI, GFH, RB e CF. As duas primeiras também possuem características de pré-fabricação

de elementos, mas a maioria das atividades de conformação de alguns subsistemas são realizados em obra, como, por exemplo, a conformação das divisórias internas, as instalações elétricas, os revestimentos e instalações hidrossanitárias. Já RB e CF, por sua vez, apresentam a racionalização de grande parte dos subsistemas, por facilitarem a execução das atividades. Através disso, tais tecnologias cumprem, em parte, os requisitos de desempenho relacionados no quadro 9, com o objetivo em padronizar elementos e métodos de trabalho e reduzir o número de etapas em obra. A utilização de elementos com maior valor agregado dá-se em parte, no momento da pré-fabricação de alguns elementos, como foi mencionado anteriormente.

O sistema construtivo ST, ao contrário das outras tecnologias investigadas, apresenta maior número de elementos alocados no nível 1. De acordo com o que se discutiu anteriormente, essa tecnologia possui características convencionais na execução das edificações, exceto na montagem da estrutura e da cobertura, que são pré-fabricadas. A agregação de valor e a padronização de elementos estão presentes, apenas, nessas atividades, possuindo, assim, um baixo desempenho neste indicador.

#### 6.2.1.8 Grau de dependência por materiais específicos (GDM)

O grau de dependência por materiais específicos é analisado qualitativamente, gerando uma lista de insumos materiais indispensáveis para a execução das atividades do sistema construtivo avaliado. Se esta lista de diferentes materiais for extensa, maior é a tendência da tecnologia depender de materiais específicos e, como consequência, dificilmente se adaptará a uma região que não dispõe desses insumos.

O indicador GDM relaciona-se diretamente com os requisitos de não depender de fornecedores e materiais específicos de uma dada região, como se pode observar na quadro 9. A lista de insumos materiais indispensáveis de cada sistema construtivo investigado está exposta na tabela 4.

Pode-se verificar na mesma tabela cujas tecnologias necessitam de maior número de diferentes materiais são QH e GFH, que dependem de insumos específicos para a conformação de alguns elementos. Com relação aos outros sistemas construtivos, elas não estão de acordo com os referidos requisitos de desempenho relacionado com esse indicador. Tais materiais dizem respeito a chapas de aço para painéis de fachada (QH), polímeros e fibra de vidro para a fabricação das chapas dos painéis (GFH), são considerados indispensáveis e insubstituíveis para a fabricação desses componentes de cada tecnologia. Esses sistemas construtivos podem correr o risco de não se adaptarem a uma região que não possuir fornecedores desses materiais básicos, podendo ser prejudicados por acréscimo de valor devido ao transporte até o local da obra.

Já as tecnologias MOA e CE necessitam dos mesmos materiais específicos (cimento e madeira) e a tecnologia ST requer de blocos cerâmicos para as paredes. Tais sistemas construtivos cumprem com os requisitos de desempenho relacionados com esse indicador, por se tratarem de materiais simples (cimento, madeira e bloco cerâmico), os quais podem ser encontrados em qualquer região. Já BP, por sua vez, requer raspas de borracha para a fabricação das placas, por se tratar de um sistema construtivo com fins de absorver um tipo de rejeito da indústria de remoldagem de pneus, ficando em desvantagem com relação aos outros já mencionados.

As tecnologias CF e RB são originárias da indústria do PVC, já descrito anteriormente, tendo como material principal para a conformação das paredes da edificação esse tipo de material plástico. Por esse motivo, as tecnologias correm o risco de não se adaptarem a regiões muito distantes das indústrias, devido a acréscimos no valor de transporte.

#### 6.2.1.9 Grau de habilidade exigido da mão-de-obra (GHMO)

O grau de habilidade exigido pela mão-de-obra também é determinado qualitativamente, através da análise das operações dos fluxos dos operários, que, necessariamente, acompanham os processos intrínsecos e constantes do ciclo básico de produção da tecnologia avaliada. Essa análise é realizada por meio da classificação dessas operações em cinco níveis crescentes de complexidade das funções dos operários, quais sejam: transporte, locação, conformação, ajuste e acabamento.

O indicador relaciona-se com os requisitos em possibilitar um nível mais baixo e homogêneo de habilidades exigido pelas operações intrínsecas, de acordo com o quadro 9. Assim, para o cumprimento desse requisito, a maioria das operações intrínsecas à tecnologia deve estar concentrada nas operações de níveis mais baixos de habilidades exigidas, ou seja operações de transporte e de locação.

Conforme a tabela 4, todas as tecnologias investigadas possuem a maioria das operações desempenhadas pela mão-de-obra, alocadas nos dois níveis mais baixos de habilidade exigidos. Praticamente todos os sistemas construtivos envolvidos na avaliação possuem características de simples montagem de elementos, não necessitando, portanto, níveis mais altos de conhecimento e treinamento, como descrito no capítulo 5.

Essa constatação proporciona o total cumprimento do requisito de desempenho relacionado com o indicador, que possibilita um nível mais baixo e homogêneo de habilidade exigido pelas operações intrínsecas do ciclo básico de produção de cada tecnologia. Com isso, pode-se promover treinamentos

curtos, facilitando a formação de operários polivalentes, para se evitar atrasos nos fluxos de processos e operações, os quais são resultado da impossibilidade de realocação de equipes, devido à existência de funções ou operários muito especializados (SAN MARTIN, 1999).

#### 6.2.1.10 Peso dos elementos construtivos (PEC)

Por fim, o indicador de peso dos elementos construtivos está relacionado diretamente com o requisito em utilizar elementos construtivos mais leves, o que possibilita melhores condições ergonômicas de trabalho. Esse indicador deve ser analisado através da estimativa de peso dos componentes da tecnologia avaliada, pois quanto menos elementos considerados pesados o sistema construtivo apresentar, maior será o cumprimento dos requisitos, conforme o quadro 9.

Na tabela 4 apresentam-se os resultados obtidos na avaliação das tecnologias investigadas, listando os principais elementos pesados em cada uma delas. Como pode ser avaliado, as tecnologias CE e QH, apesar de possuírem poucos elementos listados, são consideradas pesadas, devido aos principais componentes da edificação necessitarem equipamentos especiais de transporte (painéis em concreto armado e cobertura, por exemplo). De acordo com o requisito relacionado com esse indicador, a substituição da mão-de-obra no transporte dos elementos contribui para a diminuição de problemas ergonômicos dos operários, devido ao peso. Porém, tais medidas mostram-se desfavoráveis, tornando-se um ponto fraco na avaliação dessas tecnologias, se não obedecerem a critérios de segurança no trabalho, no momento da movimentação dos elementos em fábrica e em canteiro de obras.

Por outro lado, a maioria das tecnologias mostra-se eficiente nesse indicador, por apresentar elementos que podem ser transportados manualmente pelos operários. Os sistemas construtivos MOA e BP, que utilizam placas e pilares em concreto, necessitam de mais de um operário para o transporte dos elementos. Já no ST, os perfis da estrutura e os blocos cerâmicos compreendem os pontos fracos relacionados com o requisito de desempenho, bem como GFH, que possui a estrutura dos painéis das fachadas, necessitando de mais de um operário para movimentá-la. Por fim, as tecnologias que obtiveram o melhor desempenho nesse indicador foram CF e RB, as quais utilizam perfis em PVC para a conformação das paredes e estruturas leves para a cobertura. Além disso, não exigem maiores esforços por parte da mão-de-obra para desempenhar as atividades, considerando-se que os problemas com a ergonomia estão solucionados.

## 6.2.2 Considerações finais da avaliação

Os resultados apresentados pelos indicadores de desempenho indicam que as tecnologias que possuem características de pré-fabricação de componentes e elementos construtivos mostraram-se eficientes diante dos requisitos relacionados. Por outro lado, o indicador de peso dos elementos construtivos (PEC) revelou que esses sistemas construtivos são considerados pesados, pois necessitam de equipamentos especiais para o seu transporte e posicionamento, devendo adequar-se às medidas de segurança na execução dos trabalhos, para que se tornem eficientes nesse quesito e evitem maiores problemas aos operários com acidentes e de natureza ergonômica.

Os sistemas construtivos QH, CE e MOA correspondem, portanto, às tecnologias com melhor desempenho com relação aos requisitos de emprego de elementos com maior valor agregado, pois tem a capacidade de aglutinar em um subsistema várias funções e atividades na construção, reduzindo, dessa forma, as atividades que não agregam valor ao produto edificação, cujo resultado se nota nos indicadores de grau de padronização e agregação de valor (GPAE) e grau de padronização das operações (GPO). Além disso, proporciona-se o aumento da transparência e a simplificação dos processos de produção, através da redução do número de etapas em obra, e pode-se promover a separação dos processos em unidades de produção focalizadas, facilitando, assim, a execução da edificação.

Já as tecnologias CF, RB, GFH e BP mostram um desempenho intermediário, como foi discutido em cada um dos indicadores. O grau de habilidade da mão-de-obra corresponde ao melhor desempenho de cada um dos sistemas construtivos, pois exige um nível baixo de especialização dos operários, que facilita o treinamento dos mesmos. Além disso, possuem um alto grau de interdependência entre os processos, tornando-os mais independentes uns dos outros, além de possibilitar a redução dos processos em série, refletindo diretamente na redução do tempo de ciclo da produção e no aumento da transparência. O indicador de flexibilidade de robustez (FR) também apresentou resultados satisfatórios para essas tecnologias, devido à possibilidade de maior flexibilidade de fluxos de trabalhos e processos. Esse indicador tem a capacidade de absorver atrasos sem que se aumente o número de níveis de produção, por possuir fluxos a serem realizados em paralelo. Por outro lado, tais tecnologias possuem desvantagens com relação ao emprego de elementos com maior valor agregado e de separar os processos em unidades de produção focalizadas. Isso reflete diretamente nos valores dos indicadores de eficiência do desenho do processo (EDP), no grau de separação dos processos (GSP) e no grau de padronização e agregação de valor de elementos (GPAE).

Por outro lado, a tecnologia ST mostrou-se com baixo desempenho diante da maioria dos indicadores dessa avaliação. Esse aspecto é fruto das características das atividades serem, predominantemente, convencionais, tendo como pontos mais fracos grande parte dos requisitos de desempenho. Por outro lado, mostra-se eficiente quando analisados os requisitos de utilização de elementos construtivos mais leves, pois torna os processos mais independentes uns dos outros e reduz os processos em série, além de utilizar um número menor de materiais diferentes, por se adaptar facilmente em qualquer região, necessitando de insumos que podem ser encontrados facilmente.

### 6.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Através da descrição de cada método de avaliação de tecnologias de edificações para habitação de interesse social, pode-se identificar semelhanças nos seus requisitos de desempenho, os quais são complementares, mesmo levando em conta que as sistemáticas de avaliação possuem diferenças substanciais na visualização da produção. Assim, propõe-se uma discussão conjunta das necessidades apresentadas, a partir do quadro 14, o qual relaciona os diversos requisitos dos métodos, mostrando, ainda, o indicador de desempenho correspondente. Juntamente com essa análise, realiza-se a discussão conjunta dos resultados obtidos em cada um dos métodos .

RELAÇÃO DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO		
Elementos de avaliação da industrialização na construção de habitações (DUARTE, 1982)	Avaliação de tecnologias de edificação sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção (SAN MARTIN, 1999)	Indicador correspondente
<i>Sistematização dos produtos</i>		
- Padronização - Coordenação modular - Coordenação dimensional	- Padronizar componentes e métodos de trabalho	i, GPAE, GPO
- Componentização	- Tornar processos mais independentes uns dos outros	i, GIP, EDP
- Pré-fabricação	- Reduzir o número de etapas em obra	GPAE
	- Separar processos em unidades de produção focalizadas	i, GSP, EDP
	- Utilizar menor número de materiais diferentes	IVM
	- Empregar elementos com maior valor agregado	i, GPAE, EDP
	- Reduzir o número de processos em série	EDP, GIP
- Especialização da mão-de-obra	- Possibilitar um nível mais baixo e homogêneo de habilidade exigida pelas operações intrínsecas	i, GHMO
- Concentração da produção	- Possibilitar o fornecimento freqüentes de recursos por um número menor de fornecedores	IVM, GDM
	- Não depender de fornecedores específicos de uma dada região	
	- Não depender de materiais específicos de uma dada região	
- Mecanização	- Utilizar elementos construtivos leves	i, PEC
<i>Processos de fabricação</i>	- Possibilitar maior flexibilidade de fluxos de processos	i, IFR
	- Possibilitar maior flexibilidade de fluxos de trabalho	

Quadro 14: Relação dos requisitos de desempenho dos métodos de avaliação

As diferenças entre os métodos de avaliação se baseiam, basicamente, nos diferentes paradigmas nos quais estão inseridos, ou seja, os elementos de avaliação da industrialização na construção de

habitações (DUARTE, 1982) têm seus conceitos enraizados no antigo paradigma da construção em massa, o qual tem, como principal característica, a procura da alta produtividade, medida em termos de tempos de produção em fábrica e em canteiro de obras, de acordo com a fórmula 1 apresentada no item 3.1.3, e a produção de habitações em massa. Já o método de avaliação de tecnologias de edificação, sob a visão da gestão dos processos de produção (SAN MARTIN, 1999), está inserido no novo paradigma, denominado de construção enxuta, como foi apresentado no item 2.3.1. Esse, por sua vez, tem como características principais os diversos princípios descritos no mesmo item.

Através disso, a avaliação dos sistemas construtivos investigados nesse trabalho, realiza-se a partir da análise conjunta dos dois métodos, enfatizando a relação entre seus requisitos de desempenho (avaliação qualitativa) e os resultados dos indicadores de desempenho (avaliação quantitativa). Como pode ser visto no quadro anterior, a sistematização dos produtos, com seus respectivos requisitos, abrangem quase que totalmente os requisitos de desempenho na gestão dos processos de produção.

Destaca-se, desse modo, o item pré-fabricação, que corresponde à redução do número de etapas em obra e focaliza a produção de elementos e componentes em fábrica. Além disso, separa os processos de produção em unidades e diminui, assim, o número de atividades de transformação de matéria-prima em obra, além de utilizar um número menor de materiais diferentes, o que possibilita a otimização do canteiro. Com isso, configura-se o emprego de componentes e elementos com maior valor agregado e, ao mesmo tempo, reduz o número de processos em série.

De acordo com os resultados dos indicadores correspondentes aos requisitos citados, constata-se que as tecnologias QH, MOA e CE obtiveram melhores resultados para os indicadores de grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos (GPAE), por obter a maioria dos elementos pré-fabricados. Para o indicador de grau de separação dos processos (GSP), os sistemas construtivos GFH, QH, CE e MOA apresentaram valores superiores, por terem atividades definidas e com alto grau de interdependência dos processo (GIP), além de possuir um índice de variedade de materiais (IVM) satisfatório. Além disso, as tecnologias QH e CF e mostraram-se eficientes no desenho dos processos (EDP), possuindo poucos níveis de produção.

A padronização, que parte da utilização das coordenações modular e dimensional em projeto, possibilita a racionalização dos métodos de trabalho e a produção de componentes padrões. Sendo assim, proporciona um bom desempenho na agregação de valor dos elementos (GPAE), frente ao grau de padronização das operações (GPO). Nesses indicadores, as tecnologias QH, MOA e CE obtiveram os melhores resultados. E, com a componentização, pode-se tornar processos mais independentes uns

dos outros, resultando em um grau eficiente de interdependência dos processos (GIP) e possibilitando um eficiente desenho dos processos (EDP).

A especialização da mão-de-obra, como foi mencionado no item 2.1.3, procura a divisão do trabalho em atividades mais simples dentro dos processos de produção, evitando-se que desenvolva habilidades específicas de uma determinada atividade. O indicador de grau de habilidade da mão-de-obra (GHMO) tem a função de verificar o nível de complexidade existente nas operações. Isto é, uma tecnologia deve possuir um nível baixo e homogêneo de habilidades exigidas pelas operações intrínsecas para se tornar eficiente, para proporcionar, assim, ganhos com a produtividade. Para esse indicador, todos os sistemas construtivos investigados apresentaram grande parte das operações com o nível mais baixo de habilidade, como pode ser visualizado na tabela 4.

Por outro lado, uma tecnologia não deve depender de fornecedores específicos de uma dada região, nem depender de materiais específicos dessa mesma. Com a busca de novos mercados em diferentes regiões, com o intuito de incrementar sua concentração na produção, as tecnologias devem ter a capacidade de se adaptar a um novo local sem que essa dependência prejudique a produção dos componentes e elementos construtivos, pela falta de insumos indispensáveis. Através do indicador de grau de dependência de materiais específicos (GDM), pôde-se concluir que as tecnologias CE, MOA, BP e ST têm melhores condições de atingir os requisitos relacionados. Já, com relação ao índice de variedade de materiais (IVM), a QH obteve o maior índice, mas pode ter a concentração da produção prejudicada pela necessidade de um material específico: chapas de aço para painéis de fachada.

A mecanização, por sua vez, é um dos elementos da industrialização que possibilita grande produtividade, quando se utiliza componentes pesados na produção de habitações, mas que demandam altos investimentos iniciais para a aquisição de equipamentos especiais. Por outro lado, pode-se optar pela utilização de elementos construtivos leves, com o objetivo de reduzir custos com a aquisição ou locação de equipamentos de transporte, além de questões ligadas à ergonomia e segurança no trabalho, prevalecendo o melhor desempenho aquele que possuir componentes leves. As tecnologias que melhor cumprem esses requisitos são MOA, BP, RB, CF e ST, por utilizarem elementos construtivos leves, sem a necessidade e utilização de algum tipo de equipamento de transporte especial.

Por fim, o processo de fabricação é facilitado pela possibilidade de maior flexibilidade de fluxos de processos e de trabalho, contribuindo, assim, para uma maior produtividade e maior eficiência do indicador de flexibilidade de robustez (IFR). A tecnologia que obteve melhor desempenho foi a CF e

RB, por possibilitar a realização de fluxos paralelos de atividades, com a capacidade de absorver atrasos de qualquer natureza, sem prejudicar os processos subseqüentes e aumentar tempo de ciclo de produção.

O índice de produção industrial (i) relaciona-se, praticamente, com todos os indicadores. O cumprimento dos requisitos de desempenho de cada um dos métodos de avaliação tem como consequência o aumento da produtividade, à medida que a produção se desenvolve, devido ao aprimoramento constante da repetição das operações realizadas pela mão-de-obra e pela concentração da produção, a qual proporciona o aumento do volume da produção, tanto de componentes como da montagem da edificação. Desse modo, a tecnologia que obteve melhor desempenho diante dos requisitos relacionados com o índice de produção industrial foi MOA.

Essa análise conjunta revela que os sistemas construtivos investigados possuem desempenho satisfatório na produção de habitações de interesse social, sob o ponto de vista do processo produtivo. Alguns deles possuem desvantagens em certos requisitos, sendo um reflexo das características intrínsecas de cada uma delas, como fatores determinantes nos resultados obtidos. Torna-se necessário, porém, uma análise mais detalhada de cada tecnologia para identificar as causas e implementar melhorias.

## 7 CONCLUSÃO

---

Nos últimos anos, a Caixa Econômica Federal passou a homologar tecnicamente sistemas construtivos com características industrializadas para as diversas modalidades de financiamentos, voltando a acreditar em tecnologias não-convencionais de produção de habitações. Além dessas questões técnicas (desempenho térmico, acústico, umidade, resistência dos elementos, dentre outros), viu-se a necessidade de investigar a eficiência dessas tecnologias diante dos conceitos de industrialização na construção de habitações e da gestão dos processos de produção..

Tendo em vista o grande déficit habitacional existente na região metropolitana de Porto Alegre, fez-se a avaliação de sete sistemas construtivos homologados por essa instituição financeira, além de e um oitavo sistema, em condições de se financiar os materiais constituintes da tecnologia, com o intuito de oferecer alternativas tecnológicas em potencial, para prover novas moradias destinadas às famílias, com rendimentos de até três salários mínimos. Dessa forma, propõe-se uma discussão das questões da pesquisa, mencionadas no quadro 1, bem como uma análise do cumprimento dos objetivos do trabalho, além de tecer considerações finais da pesquisa e de apresentar alguns temas para trabalhos futuros.

### 7.1 DISCUSSÃO DAS QUESTÕES E OBJETIVOS DA PESQUISA

Na primeira fase, as duas primeiras questões foram respondidas através da pesquisa de levantamento, a qual investigou que a Caixa Econômica Federal dispõe de doze sistemas construtivos homologados tecnicamente para as diversas linhas de financiamento. Viu-se a necessidade de se avaliar a eficiência dos mesmos diante da fabricação dos elementos e execução das edificações, em uma primeira análise, devido às características industriais das tecnologias. Já a terceira pergunta, por sua vez, teve sua resposta através da revisão da literatura, que buscou investigar a melhor estrutura para se realizar a descrição detalhada de cada tecnologia, sendo feita através da divisão da mesma em subsistemas funcionais, quais sejam: estrutura, envelope, divisórias internas, piso, cobertura, revestimento e instalações elétricas e hidrossanitárias.

Na segunda fase, através da revisão da literatura, foi possível selecionar, dentre as sistemáticas de avaliação existentes, aquelas que melhor se enquadravam no foco da pesquisa, no que diz respeito a sistemas construtivos para edificações de interesse social. Assim, os métodos selecionados para a

avaliação das tecnologias foram aqueles que apresentaram conceitos relacionados com a industrialização na construção e na gestão dos processos de produção de edificações de interesse social. Através dos mesmos, foi possível relacionar os requisitos de desempenho de cada sistemática, a fim de realizar uma avaliação conjunta dos sistemas construtivos investigados, de acordo com o quadro 15 apresentado no item 6.3.

Por fim, na terceira fase da pesquisa, as questões puderam ser contempladas através da análise dos resultados de cada sistemática de avaliação, determinando quais tecnologias possuem melhores condições de desempenho para o cumprimento dos requisitos relacionados com os métodos. Através de uma avaliação conjunta dos mesmos, pôde-se tecer considerações a respeito da relação existente entre cada método de avaliação, encontrando-se, portanto, pontos em comum, mesmo considerando que as duas sistemáticas encontram-se em diferentes paradigmas.

Portanto, ao retornar a questão principal da pesquisa, a qual questiona se os sistemas construtivos aprovados tecnicamente pela referida instituição são suficientemente eficientes diante dos conceitos de industrialização na construção e da gestão dos processos de produção para edificações de interesse social, depreende-se que, de um modo geral, todas as tecnologias investigadas possuem condições plenas de promover tais habitações. Esse fato se comprova pelo cumprimento de, praticamente, todos os requisitos de desempenho exigidos pelos métodos de avaliação, mas cada uma com características particulares intrínsecas à tecnologia.

Destacam-se, nessa avaliação, as tecnologias MOA, CE e QH, pelo alto grau de agregação de valor aos elementos construtivos produzidos em fábrica e a pela simples montagem e conexão dos mesmos, em canteiro de obras. Deve-se ressaltar que, os dois últimos sistemas construtivos possuem componentes pesados, que necessita de equipamentos especiais para transporte, sendo um ponto negativo diante dos custos para a aquisição ou locação de tais equipamentos, e pelas questões ergonômicas e de segurança do trabalho.

Com relação às tecnologias CF, RB e BP, as mesmas apresentam um alto grau de padronização dos elementos construtivos e das atividades realizadas em obra, mostrando-se, dessa forma, com grande racionalização desde a fase de projeto até os acabamentos. O sistema construtivo GFH mostrou-se eficiente da mesma forma que as anteriores, mas necessita de mão-de-obra especializada para o beneficiamento da madeira, na conformação da estrutura dos painéis e das chapas de fibra de vidro. E, por fim, a tecnologia ST, apesar de ser considerada convencional, obteve bons resultados diante dos indicadores de desempenho das duas sistemáticas de avaliação.

Com relação ao cumprimento dos objetivos principal e específicos, os mesmos foram cumpridos com sucesso no decorrer da pesquisa. O objetivo principal foi contemplado através do desempenho satisfatório apresentado pelos sistemas construtivos oferecidos pela CEF para as diversas linhas de financiamento, pois apresentam condições plenas de servirem como alternativas tecnológicas para a produção de habitações unifamiliares, de interesse social, levando em conta os conceitos apresentados pelas duas correntes, quais sejam: industrialização na construção e gestão dos processos de produção.

Já os objetivos específicos, por sua vez, foram cumpridos na aplicação dos métodos de avaliação aos sistemas construtivos selecionados. Nessa etapa, foi possível tecer considerações às tecnologias com relação aos requisitos de desempenho de cada sistemática. Num segundo momento, realizou-se, então, a correlação entre tais requisitos, através do cruzamento dos mesmos e apresentando uma discussão conjunta do desempenho apresentado pelas tecnologias.

## 7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais contribuições da pesquisa dizem respeito à semelhança entre os requisitos de desempenho de cada método de avaliação, isto é, a construção enxuta, considerada como o novo paradigma produtivo na construção de edificações, que é plenamente auxiliado pela industrialização na construção, conforme pode ser visualizado no quadro 15, o qual realiza a ligação entre as duas correntes. Nota-se no mesmo que o requisito de pré-fabricação da industrialização corresponde à maioria dos requisitos de desempenho da gestão dos processos de produção para a produção de habitações de interesse social.

Paralelo a isso, os sistemas construtivos mostraram-se, de uma forma geral, eficientes na produção de habitações de interesse social. Essa constatação deu-se devido aos resultados satisfatórios diante dos indicadores de desempenho das duas sistemáticas de avaliação, no cumprimento dos respectivos requisitos e pelas características de industrialização dos componentes e elementos construtivos, que compõem os subsistemas das edificações. Portanto, com o cumprimento desses requisitos, os sistemas construtivos terão condições de desenvolver gradativamente a gestão dos processos de produção, tendo ganhos no que diz respeito à redução do tempo de execução, aumento da produtividade e, conseqüentemente, nas questões econômicas.

### 7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa relacionada a sistemas construtivos não-convencionais para o subsetor edificações não se esgota aqui, podendo haver investigações tanto com foco direcionado a habitações de interesse social, como em outros tipos de edificações. Dessa forma, apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

- aplicação das sistemáticas de avaliação para sistemas construtivos destinados para produção de edificações multifamiliares, tanto para interesse social como de alto padrão;
- investigação mais profunda de um determinado sistema construtivo, com o intuito de identificar e melhorar a gestão dos processos de produção;
- avaliar os sistemas construtivos sob a perspectiva dos conceitos de desempenho, isto é, em prover ambientes construtivos adequados aos usuários finais do processo;
- avaliar um ou mais sistemas construtivos para a produção de edifícios comerciais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADALLA, J. C. F. Quadro de Classificação da Produção de Sistemas Construtivos em Três Momentos da Industrialização das Construções. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, ANTAC, 1995. CD-ROM. p. 549-554.

AKINTOYE, L. F. Just in Time Application and Implementation for Building Material Management. **Construction Management and Economics**, London, vol. 13, n. 2, p. 105-113. Mar. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 02:136.01.001**: desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – ISO 9000**: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2000.

BANCO NACIONAL DE HABITAÇÃO. Relatório de atividades: 1980. Rio de Janeiro, 1981.

BARROS, M. M. B. **Metodologia para Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios**. 1996. 422 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. Metodologia para Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas no Processo de Produção de Edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, ANTAC, 1998. CD-ROM. p. 569-576.

BENDER, R. **Una Visión de la Construcción Industrializada**. Gustavo Gili: Barcelona, 1976.

BARON, C. M. P.; MARTUCCI, R. História de Tecnologias para Conjuntos Habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, ANTAC, 1995. CD-ROM. p. 415-419.

BRANDÃO, D. Q. Personalização do Produto Habitacional: novas demandas e respostas das tecnologias de construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEPRO, 2002. CD-ROM.

BROBERG, P. The Evolution of Industrial Building. **Design Studies**, Oxford, v. 7, n. 3, p. 144-152, July 1986

CARVALHO, K. Dinheiro para Poucos. **Construção Mercado**, São Paulo, v. 56, n. 23, p. 30-34, jun. 2003.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. H. **Just in Time, MRP II e OPT**: um enfoque estratégico. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1996, 186 p.

DUARTE, R. B. **Elementos de Avaliação da Industrialização na Construção por Sistemas no Rio Grande do Sul**. 1982. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1982.

DREWER, S. A Perspective of the International Construction System. **Habitat International**, Oxford, vol. 25, n. 1, p. 69-79, Mar. 2001.

DREWER, S. The international construction system. In: **Habitat International**, Oxford, vol. 14, n. 2/3, p. 29 – 35, Jan./Apr. 1990.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico em Sistemas Construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como Subsídios para a Escolha de Tecnologias Apropriadas em Habitações de Interesse Social**. 2002. 231 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

EHRENKRANTZ, E. D. The Third Era of System Building. **Industrialized Building Systems for Housing**, Cambridge, 1977.

FINN, D. W. **Towards Industrialized Construction**. Disponível em: [http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/practice/gen1\\_E.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/practice/gen1_E.html). Acesso em: 5 set. 1992.

FUNDAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS (FINATEC). **Política Nacional de Habitação: documento preliminar**. Brasília, 2002b. Disponível em: <http://www.finatec.com.br/Projetos/PoliticaNacionaldeHabitacao.doc>. Acesso em: 21.jun. 2002.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil 2000**. Belo Horizonte: Centro de Estatística e Informações, 2001, 200 p.

FREITAS, C. G.L. **Habitação e Meio Ambiente**: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2001.

GANN, D. M. Construction as a Manufacturing Process? similarities and differences between industrialized housing na car production in Japan. **Construction Management and Economics**, London, vol. 14, p. 437-450, Mar. 1996.

GANN, D. M.; SENKER, P. Internacional Trends in Construction Technologies and the Futures of Housebuilding. **Futures**, Kidlington, v. 25, n. 1, p. 53-65, Jan./Feb. 1993.

HOLANDA, A. B. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986, 1838 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Avaliação de Alternativas Tecnológicas em Habitação**. São Paulo: Equipe do IPT, 1985. 29 p.

GIL, A. C. **Método e Técnicas de Pesquisa Social**. 4ª ed. Atlas: São Paulo, 1994.

GROPIUS, W. **Bauhaus: nova arquitetura**. McGraw Hill: São Paulo, 1977.

GUEDES, A. K. R.; QUELHAS, O. L. G. Racionalização: conceitos e experiências na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, ANTAC, 1995. CD-ROM. p. 91-96.

HEINECK, L. F. **On the Analyses of Activity Durations on Three House Building Sites**. 1983. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Department of Civil Engineering, University of Leeds, England, 1983.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford, EUA: CIFE, 1992. Technical Report No 72.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Operations Management: strategy and analysis**. 3. ed. New York: Addison; Wesley, 1992. 904 p.

LANTELME, E. M. V. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil**. 1994. 194 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

LUCINI, H. C. **Desenvolvimento de Novos Sistemas Construtivos: estudo de caso**. 1984. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

MARTINS, P. G. LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 1998. 443 p.

MAWDESLEY, M. J.; LONG, G. Prefabrication for Lean Building Services Distribution. In: THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Porto Alegre: UFRGS, 2002. p. xx-xx.

MELHADO, S. B. **Qualidade do Projeto na Construção de Edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese (Doutorado em engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MICHALOSKI, A. O. **Avaliação do Desempenho Térmico por Meio de Simulação Computacional de Habitações Populares Implantados na Vila Tecnológica de Curitiba**. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Tradução Cristina Schumacher. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

ORDOÑEZ, J. A. E. F. et al. **Prefabricación: teoría y práctica**. Barcelona: Técnicos Asociados, 1974.

PERALTA, A. C. **Um Modelo de Processo de Projeto de Edificações, Baseado na Engenharia Simultânea, em Empresas Construtoras Incorporadoras de Pequeno Porte**. 2002. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

REZENDE, M. A. P. et al. Barreiras e Facilitadores da Inovação Tecnológica na Produção de Habitações Populares. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. CD-ROM. p. 895-904

SABBATINI, F. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SALDANHA, M. C. W. Racionalização do Trabalho na Construção de Edificações: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, UFRJ, ANTAC, 1995. CD-ROM. p. 261-266.

SÃO PAULO. Decreto no. 12.342, de 27 de setembro de 1978. **Código Sanitário**. 5ed. São Paulo: Imesp, 1992.

SAN MARTIN, A. P. **Método de Avaliação de Tecnologias de Edificação para a Habitação de Interesse Social sob o Ponto de Vista da Gestão dos Processos de Produção**. 1999. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Tradução Eduardo Shaan. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SILVA, M. A. C. **Metodologia de Seleção Tecnológica na Produção de Edificações com o Emprego do Conceito de Custos ao Longo da Vida Útil**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

WERNA, E.; ABIKO, A.; COELHO, L. O. O Novo Papel do Estado na Oferta de Habitação e Parcerias de Agentes Públicos e Privados. In: **Coletânea Habitare**: avaliação pós-ocupação: métodos e técnicas aplicados à habitação social. São Paulo: FINEP, 2002. p. 34-55. 1 v.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1990. 345 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **Lean Thinking**. New York: Rawson Associates, 1992. 323 p.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. Tradução Daniel Grassi. 2. ed. Bookman: Porto Alegre, 2001.

## APÊNDICES

## Apêndice 1 – Questionário direcionado às empresas

---

### 1 – INFORMAÇÕES GERAIS

1.1 – Nome do sistema construtivo:

1.2 – Nome do responsável técnico:

1.3 – Endereço:

1.4 – Quando começou a ser empregado o sistema construtivo?

1.5 – Tem conhecimento de outros sistemas construtivos empregados? Quais?

### 2 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

2.1 – Atualmente, quais sistemas construtivos são utilizados pela empresa? Descreva os mesmos?

2.2 – Qual a modulação empregada no sistema construtivo?

2.3 – Qual a característica da concentração da produção, marketing e vendas? (produção em pequena, média ou grande escala?)

2.4 – É praticada a sistematização dos produtos, ou seja, existe uma padronização dos mesmos?

### 2.5 – SUBSISTEMAS

2.5.1 – **Subsistema Fundações:** como se caracterizam as fundações do sistema construtivo?

2.5.2 – **Subsistema Estrutura:** como se caracteriza a estrutura do sistema construtivo? (que elementos resistem cargas acidentais, peso próprio, ação do vento e telhado)

2.5.3 – **Subsistema Envelope:** como se caracterizam as paredes externas da edificação? (material, espessura da parede)

2.5.4 – **Subsistema Divisórias:** como se caracterizam as divisórias internas da edificação? E as divisórias da cozinha e banheiro? (material, espessura, módulo)

2.5.6 – **Subsistema Piso:** como se caracteriza o piso da edificação? E o piso da cozinha e banheiro?

2.5.7 – **Subsistema Instalação Elétrica:** como se caracteriza as instalações elétricas? Quando começam as instalações elétricas?

2.5.8 – **Subsistema Instalação Hidrossanitária:** como se caracteriza as instalações hidrossanitárias? Quando começam as instalações?

2.5.9 – **Subsistema Cobertura:** como se caracteriza a cobertura, forro, estrutura?

### 3 – *TRABALHO EM FÁBRICA*

3.1 – Quais os componentes da edificação são fabricados em fábrica?

3.2 – Quais equipamentos são utilizados para a fabricação?

3.3 – Há necessidade de mão-de-obra especializada para a fabricação dos componentes?

3.4 – Qual o tempo necessário para a produção dos componentes de uma edificação do projeto padrão, em homens hora por metro quadrado?

### 4 – *TRABALHO NO CANTEIRO DE OBRAS*

4.1 – Os componentes vão para canteiro pré-montados, pré-cortados para o canteiro de obras?

4.2 – Como é feito o transporte e posicionamento dos componentes no canteiro? (manualmente ou mecanizado)

4.3 – Quais equipamentos de transporte são utilizados?

4.4 – Como é feita a montagem dos componentes?

4.5 – O sistema necessita de mão-de-obra especializada para a montagem da edificação?

4.6 – Qual o número de operários para a montagem e qual o tempo que é gasto para a montagem da edificação em homens hora por metro quadrado (projeto padrão)?

4.7 – Qual a produtividade do sistema construtivo quando comparado com o sistema tradicional?

## Apêndice 2 – Tabelas de mapeamento do ciclo básico de produção (CBP)

### Tabela P1 – QH

Empresa:		Observador: César		
Tecnologia: QH		Folha nº:		
CÓD	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	DISCRICÃO DO SUBPRODUTO DERIVADO DO SERVIÇO	PRINCIPAIS ATIVIDADES ENVOLVIDAS	OBS
PEP	PRODUÇÃO DA ESTRUTURA DOS PAINÉIS	Estrutura dos painéis	Corte dos perfis metálicos, montagem e solda	
PP	PRODUÇÃO DO PAINEL	Painel de fachada	Corte da madeira, colocação dos eletrodutos, fixação das madeiras na estrutura no lado interno da parede, fixação dos marcos de portas e janelas, fixação das portas e janelas, vedação, fixação das chapas de aço no lado externo das paredes	
MC	MONTAGEM COBERTURA	Cobertura da edificação	Montagem dos oitões, montagem da estrutura, solda da estrutura, colocação das telhas	
LM	LIMPEZA E MARCAÇÃO DA OBRA	Fundações	Limpeza do terreno, marcação da obra e escavação das fundações.	
IP	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	Instalações provisórias de água e energia elétrica	Envio de pedido de ligação de água e energia elétrica, instalação de água e instalação de energia elétrica no canteiro de obras	
F	FUNDAÇÕES	Fundações da edificação (radier)	Lastro de brita, disposição da armadura, insertes metálicos para ancoragem dos painéis, colocação de esperas para instalações hidrossanitárias, produção de concreto, lançamento, cura, impermeabilização	
MP	MONTAGEM DOS PAINÉIS	Paredes externas	Colocação dos painéis sobre fundações, fixação dos painéis nas fundações, vedação	
MD	MONTAGEM DAS DIVISÓRIAS	Divisórias internas	Colocação das divisórias sobre as fundações, fixação dos painéis nas fundações, vedação.	
MT	MONTAGEM DO TELHADO	Telhado da edificação	lçamento do telhado, fixação nos painéis e acabamento do telhado, finalização do centro do telhado	
IE	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	Instalações dos circuitos elétricos prontas	Passagem dos fios pelos eletrodutos, conexão e fixação dos dispositivos e disjuntores	
MF	MONTAGEM DO FORRO	Forro interno da edificação	Fixação da madeira nas guias da estrutura do telhado e fixação dos suportes de lâmpadas	
P	PISO	Piso acabado	Produção de argamassa, lançamento, assentamento das lajotas cerâmicas	
IH	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS	Instalações hidrossanitárias prontas	Fixação dos canos PVC na parede, instalação das pias, vaso sanitário, tanque	
PI	PINTURA INTERNA	Parede e forro pintada	Lixamento das superfícies, preparação do verniz, preparação da tinta e pintura	

Tabela P2 – QH

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: PRODUÇÃO DA ESTRUTURA DOS PAINÉIS		CÓD: PEP
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
PEP1	Corte dos perfis metálicos	Fábrica	-	PEP2	Cortar perfis nas dimensões especificadas	
PEP2	Montagem e solda	Fábrica	PEP1	PP1	Montar perfis e soldar	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: PRODUÇÃO DOS PAINÉIS		CÓD: PP
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
PP1	Fixação das chapas de aço na estrutura	Fábrica	PEP2	PP2	Fixar chapas de aço na estrutura aparafusando	
PP2	Colocação de isolante térmico	Fábrica	PP1	PP3	Colocar isolante térmico na sobre a chapa de aço	
PP3	Colocação de eletrodutos e canos de água	Fábrica	PP2	PP4, IH1, IE1	Fixar eletrodutos e canos de água na estrutura do painel	
PP4	Corte de madeira	Fábrica	PP3	PP5	Corte de chapas de madeira nas dimensões	
PP5	Fixação de chapas de madeira na estrutura	Fábrica	PP4	PP6	Aparafusar chapas, cortar chapas, fixar caixas de ponto de luz	
PP6	Fixação de marcos de portas e janelas	Fábrica	PP5	PP7	Aparafusar na estrutura de aço marcos de portas e janelas e vedar	
PP7	Fixação de portas e janelas	Fábrica	PP6	MP1, MD1	Aparafusar dobradiças de portas, aparafusar janelas e vedar	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: MONTAGEM DA COBERTURA		CÓD: MC
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
MC1	Montagem da estrutura	Fábrica	-	MC1	Soldar dos perfis metálicos	
MC2	Fixação das terças	Fábrica	MC1	MC3	Aparafusar terças na estrutura	
MC3	Montagem dos oitões	Fábrica	MC2	MC4	Aparafusar chapas de aço na estrutura	
MC4	Fixação de chapas de madeira nos oitões	Fábrica	MC3	MC5	Aparafusar chapas de madeira na estrutura	
MC5	Fixar chapas de madeira nas terças	Fábrica	MC4	MC6	Aparafusar nas terças chapas de madeira	
MC6	Colocação das telhas	Fábrica	MC5	MT1	Aparafusar telhas nas madeiras	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: LIMPEZA E MARCAÇÃO		CÓD: LM
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
LM1	Limpeza do terreno	Canteiro de obras	-	LM2	Limpeza do terreno utilizando roçadeira	
LM2	Marcação das fundações	Canteiro de obras	LM1	LM3	Marcação da obra com auxílio de equipamento de nivelamento	
LM3	Escavação das fundações	Canteiro de obras	LM2	F1	Escavação realizada com auxílio de equipamento de escavação	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS		CÓD:
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
IP1	Pedido de instalação de água	Cia local de abastecimento	-	IP3	Encaminhar pedido de instalação de água à cia de águas e esgotos	
IP2	Pedido de instalação de energia	Concessionária de energia	-	IP4	Encaminhar pedido de instalação de energia à concessionária de energia	
IP3	Instalação de água	Canteiro de obras	IP1	F1	Instalação de canos, torneiras, escavação e ligação na rede pública de água	
IP4	Instalação de energia	Canteiro de obras	IP2	F1	Instalação de contador, disjuntor, tomadas e ligação à rede distribuidora	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: FUNDAÇÕES		CÓD: F
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
F1	Impermeabilização	Marcação das fundações	LE3,IP3, IP4	F2	Colocação lona preta no solo	
F2	Execução do lastro de brita	Escavação das fundações	F1	F3	Transportar brita do estoque até o local das escavações das fundações e espalhar até uma espessura de 10 cm	
F3	Colocação da armadura inferior	Lastro de brita	F2	F4	Dispor a malha de aço sobre o lastro de brita, fixar insertes metálicos para ancoragem dos painéis	
F4	Esperas de instalações hidrossanitárias	Sobre a malha de aço	F3	F5	Colocação do ralo da área de serviço e esperas de cano para tanque e saída para a fossa septica, esperas	

					de cano para ralo da cozinha e canos de saída para a caixa de gordura	
F5	Produção do concreto	Central de concreto	F4	F6	Dosar areia, brita, cimento e água. Misturar na betoneira. Transportar concreto até local de lançamento.	
F6	Concretagem do radier	Fundações da casa	F5	F7	Lançamento e adensamento com vibrador de imersão	
F7	Desempeno da superfície	Fundação concretada	F6	MP1, MD1, P1	Reguar a superfície e preparar o contrapiso	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: MONTAGEM DOS PAINÉIS		CÓD: ME
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
MP1	Montagem dos painéis	Sobre fundações	F7, PP7	MP2	Posicionar dos painéis nas fundações	
MP2	Fixação dos painéis	Sobre fundações	MP1	-	Fixar os painéis nos insertes da fundação	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: MONTAGEM DAS DIVISÓRIAS		CÓD: MD
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
MD1	Montagem dos painéis	Sobre fundações	F7	MD2	Posicionar dos painéis nas fundações	
MD2	Fixação dos painéis	Sobre fundações	MD1	MT1	Fixar os painéis nos insertes da fundação	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: MONTAGEM DO TELHADO		CÓD: MT
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
MT1	Posicionamento do telhado	Sobre paredes	MC6, MD2, MP2	MT2	Posicionar cobertura sobre paredes	
MT2	Fixação do telhado	Sobre paredes	MT1	MT3	Aparafusar estrutura do telhado na estrutura das paredes	
MT3	Acabamento do centro do telhado	Telhado	MT2	MT4	Fixação de chapas de madeira nas terças	
MT4	Fixação de telhas	Telhado	MT3	-	Aparafusar telhas nas chapas de madeira	
MT5	Executar forro	Forro	IE3	-	Aparafusar madeira na estrutura do telhado	

Empresa:			Observador: César			
Tecnologia de edificação: QH			Serviço: PISO			CÓD: P
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
P1	Nivelamento do contrapiso	Contrapiso	F7, MD2, MP2	P2	Nivelamento do contrapiso através de mangueira de água ou nível a laser	
P2	Produção de argamassa	Central de argamassa	P2	P3	Dosagem de areia, cimento e água. Mistura na betoneira e transporte até o local de lançamento	
P3	Assentamento das lajotas	Contrapiso	P2	P4	Lançamento da argamassa e assentamento das lajotas cerâmicas com a colocação de espaçadores entre elas	
P4	Produção de argamassa para rejuntamento	Central de argamassa	P3	P5	Dosagem da areia, cimento e água. Mistura na betoneira e transporte até o local de lançamento	
P5	Rejuntamento	Piso	P4	P6	Preenchimento dos vazios entre lajotas cerâmicas	
P6	Limpeza	Piso	P5	IH1	Limpeza do piso	

Empresa:			Observador: César			
Tecnologia de edificação: QH			Serviço: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS			CÓD: IE
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
IE1	Instalações dos Fios	Eletrodutos embutidos na parede	MP2, PP3, MD2	IE2	Passagem dos fios entre os eletrodutos embutidos nas paredes e fios nas lajes	
IE2	Conexão dos fios nos dispositivos	Caixa de distribuição (CD), pontos de tomadas, interruptores e luz	IE1	IE3	Conexão dos fios aos dispositivos (CD, interruptores, tomadas)	
IE3	Fixação dos dispositivos	Nas paredes e forro	IE2	-	Furar e aparafusar espelhos de interruptores e tomadas, colocação de disjuntores, aparafusar suporte de lâmpadas	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS		CÓD: IH
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
IH1	Fixação de aparelhos sanitários	Sobre o piso	P6, PP3	-	Furar piso, aparafusar vaso sanitário, furar parede e aparafusar bacia sanitária, furar parede e aparafusar tanque, rosquear torneiras, fixar sifão no cano de espera	

Empresa:				Observador: César		
Tecnologia de edificação: QH				Serviço: PINTURA INTERNA		CÓD: PI
CÓD	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	LOCAL	PROCESSOS PRECEDENTES	PROCESSOS SEGUINTE	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES ENVOLVIDAS	FOTOS
PI1	Preparação das superfícies	Paredes	MP1, MD1	PI2	Lixar superfícies	
PI2	Preparação da tinta	Canteiro de obras	P11	PI3	Preparação da tinta	
PI3	Pintura	Revestimento	PI2	-	Pintar paredes e forro	

#### Tabela P4 – QH

Empresa:			
Tecnologia: QH			
CÓD. SERVIÇO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	MATERIAIS UTILIZADOS	Nº TOTAL DE DIFERENTES MATERIAIS UTILIZADOS (NTM)
PEP	PRODUÇÃO DA ESTRUTURA DOS PAINÉIS	Perfil de aço, solda	2
PP	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	Parafuso, chapas de aço, isolante térmico, eletrodutos, canos PVC, chapas de madeira, caixa de pontos elétrico	7
MC	MONTAGEM DA COBERTURA	Madeira, telhas, perfil metálico	3
IP	INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	Condutores elétricos diversas bitolas, disjuntor, eletrodutos, fita isolante, tomadas, canos, torneira	7
F	FUNDAÇÕES	Lona preta, brita, cimento, areia, malha de aço, arame, linha de nylon,	7
P	PISO	Lajotas cerâmicas	1
IE	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	Fios diversas bitolas, disjuntores, tomadas, interruptores	4
PI	PINTURA INTERNA	Tinta PVA	1

Apêndice 3 – Lista de verificação dos elementos da industrialização na construção

Subsistema	Elementos da Industrialização							
	Fábrica				Canteiro			
	Sistem.	Especial.	Concentr.	Mecaniz.	Sistem.	Especial.	Concentr.	Mecaniz.
<b>Sistema Construtivo CE</b>								
Fundações								
Estrutura	■	■	■	■	■	■	■	■
Envelope	■	■	■	■	■	■	■	■
Divisórias	■	■	■	■	■	■	■	■
Inst. Elétricas		■						
Inst. Hidro.		■						
Piso								
Cobertura	■	■	■		■	■	■	
Revestimento	■	■						
<b>Sistema Construtivo ST</b>								
Fundações								
Estrutura	■	■	■		■	■	■	
Envelope								
Divisórias								
Inst. Elétricas								
Inst. Hidro.								
Piso								
Cobertura	■	■	■		■	■	■	
Revestimento								
<b>Sistema Construtivo RB</b>								
Fundações								
Estrutura	■	■		■	■	■		
Envelope	■	■		■	■	■		
Divisórias	■	■		■	■	■		
Inst. Elétricas					■	■		
Inst. Hidro.								
Piso								
Cobertura								
Revestimento	■	■		■				
<b>Sistema Construtivo CF</b>								
Fundações								
Estrutura	■	■	■	■	■	■	■	
Envelope	■	■	■	■	■	■	■	
Divisórias	■	■	■	■	■	■	■	
Inst. Elétricas					■	■	■	
Inst. Hidro.								
Piso								
Cobertura	■	■	■		■	■	■	
Revestimento	■	■	■	■				

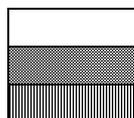
Subsistema	Elementos da Industrialização							
	Fábrica				Canteiro			
	Sistem.	Especial.	Concentr.	Mecaniz.	Sistem.	Especial.	Concentr.	Mecaniz.
<b>Sistema Construtivo MOA</b>								
Fundações								
Estrutura	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Envelope	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Divisórias	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Inst. Elétricas	▨	▨	▨					
Inst. Hidro.								
Piso								
Cobertura	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Revestimento	▨	▨	▨					
<b>Sistema Construtivo BP</b>								
Fundações								
Estrutura	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Envelope	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Divisórias	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Inst. Elétricas								
Inst. Hidro.								
Piso								
Cobertura	▨	▨	▨		▨	▨	▨	
Revestimento	▨	▨	▨					
<b>Sistema Construtivo GFH</b>								
Fundações								
Estrutura	▨	▨			▨	▨		
Envelope	▨	▨			▨	▨		
Divisórias	▨	▨			▨	▨		
Inst. Elétricas	▨				▨			
Inst. Hidro.								
Piso								
Cobertura	▨	▨			▨	▨		
Revestimento	▨	▨						
<b>Sistema Construtivo QH</b>								
Fundações								
Estrutura	▨	▨		▨	▨	▨		▨
Envelope	▨	▨		▨	▨	▨		▨
Divisórias	▨	▨		▨	▨	▨		▨
Inst. Elétricas	▨				▨			
Inst. Hidro.	▨				▨			
Piso	▨	▨		▨	▨	▨		▨
Cobertura	▨	▨		▨	▨	▨		▨
Revestimento	▨	▨						

**Legenda:**

Artesanal

Parcialmente industrializado

Totalmente industrializado



#### Apêndice 4 – Diagrama adaptado de precedências de cada sistema construtivo investigado

Diagrama adaptado de precedência da tecnologia BP

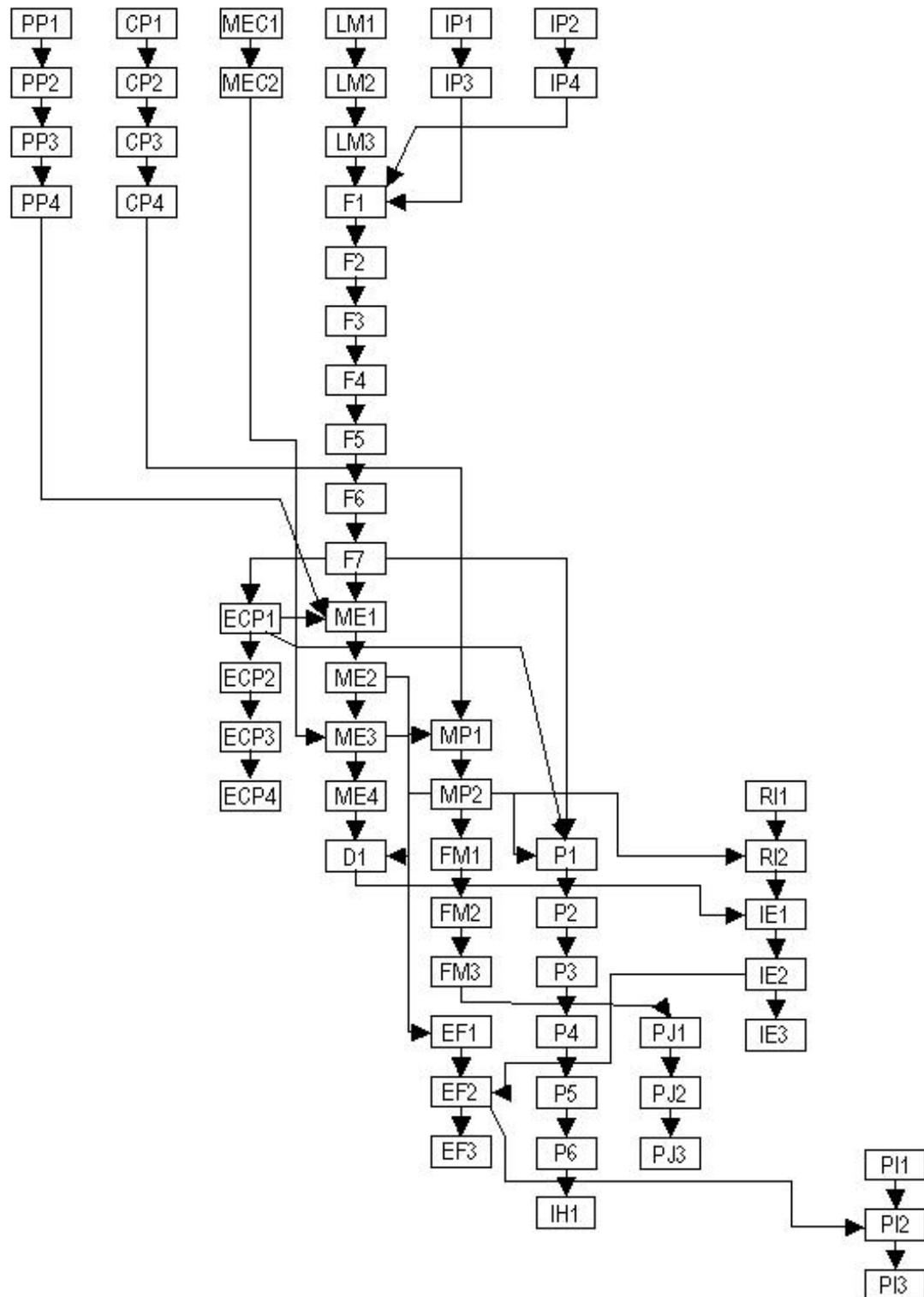


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia CE

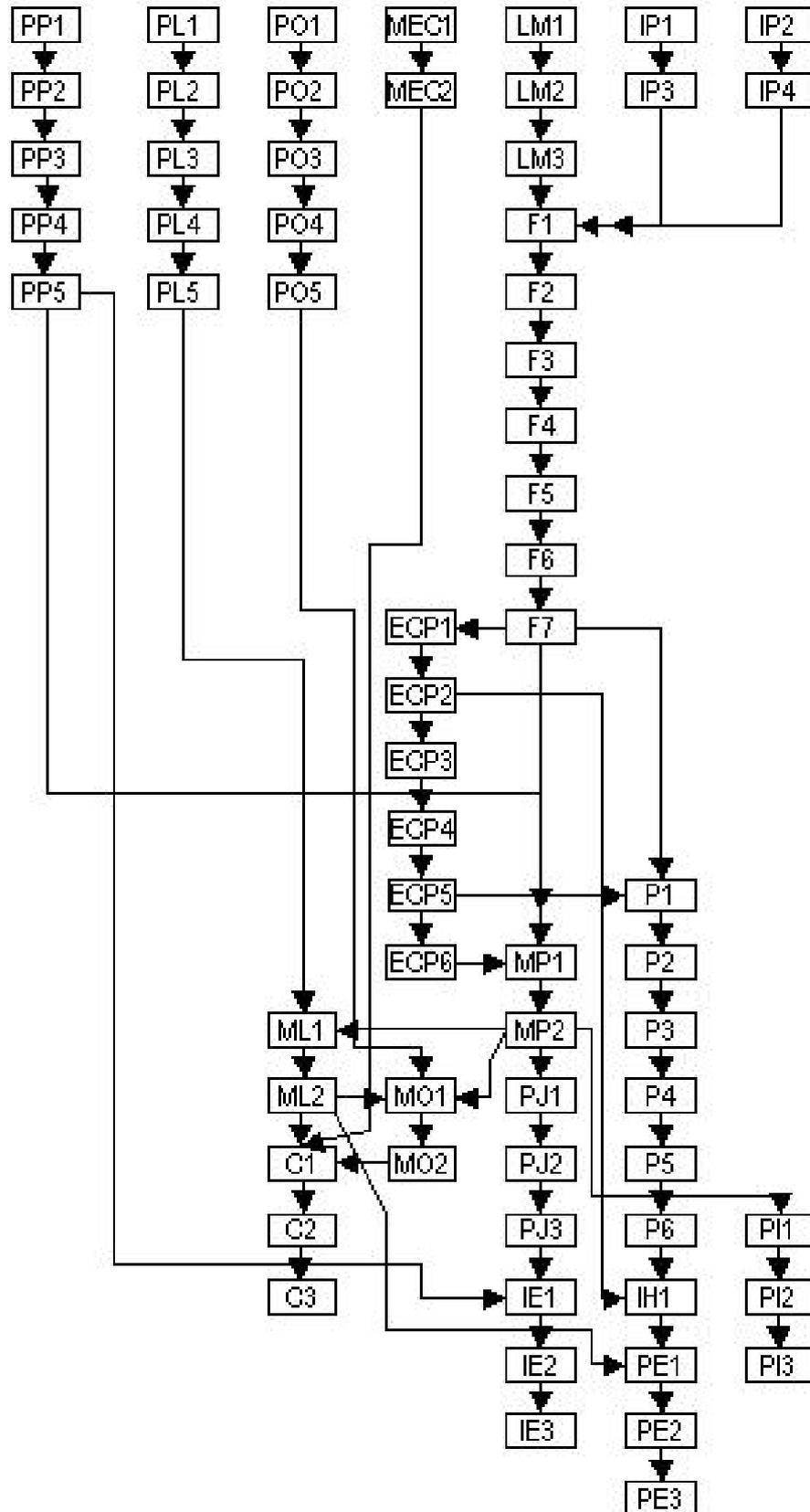


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia CF

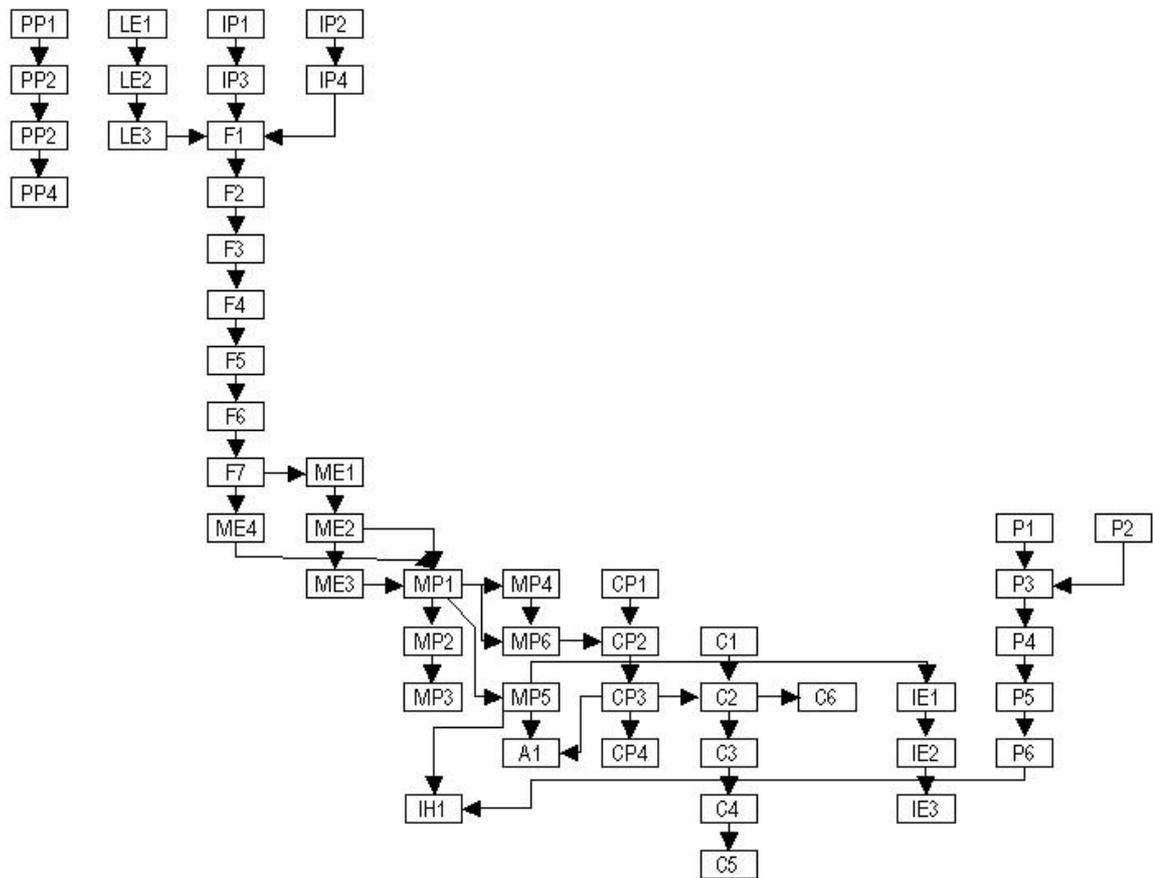


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia GFH

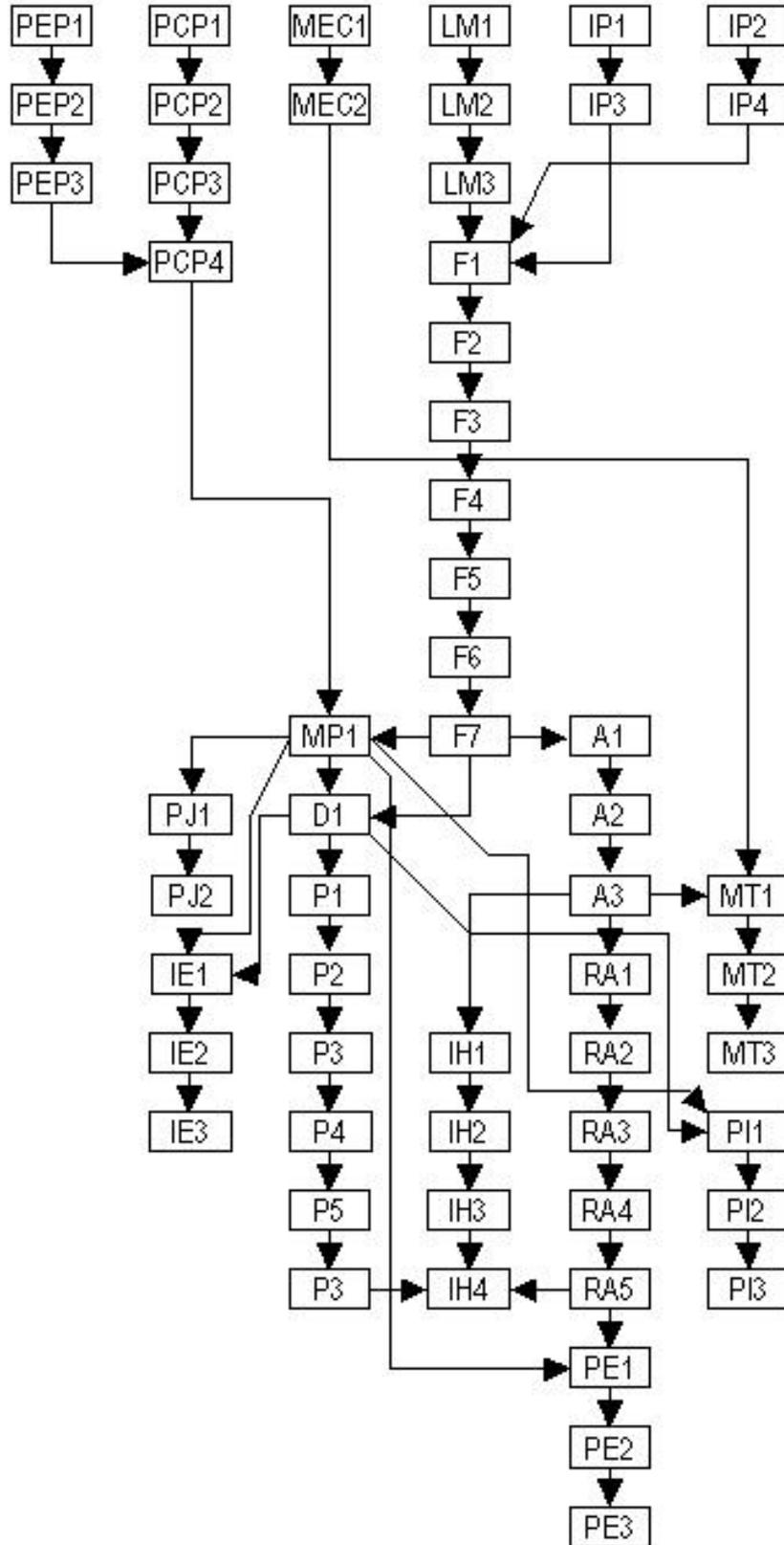


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia MOA

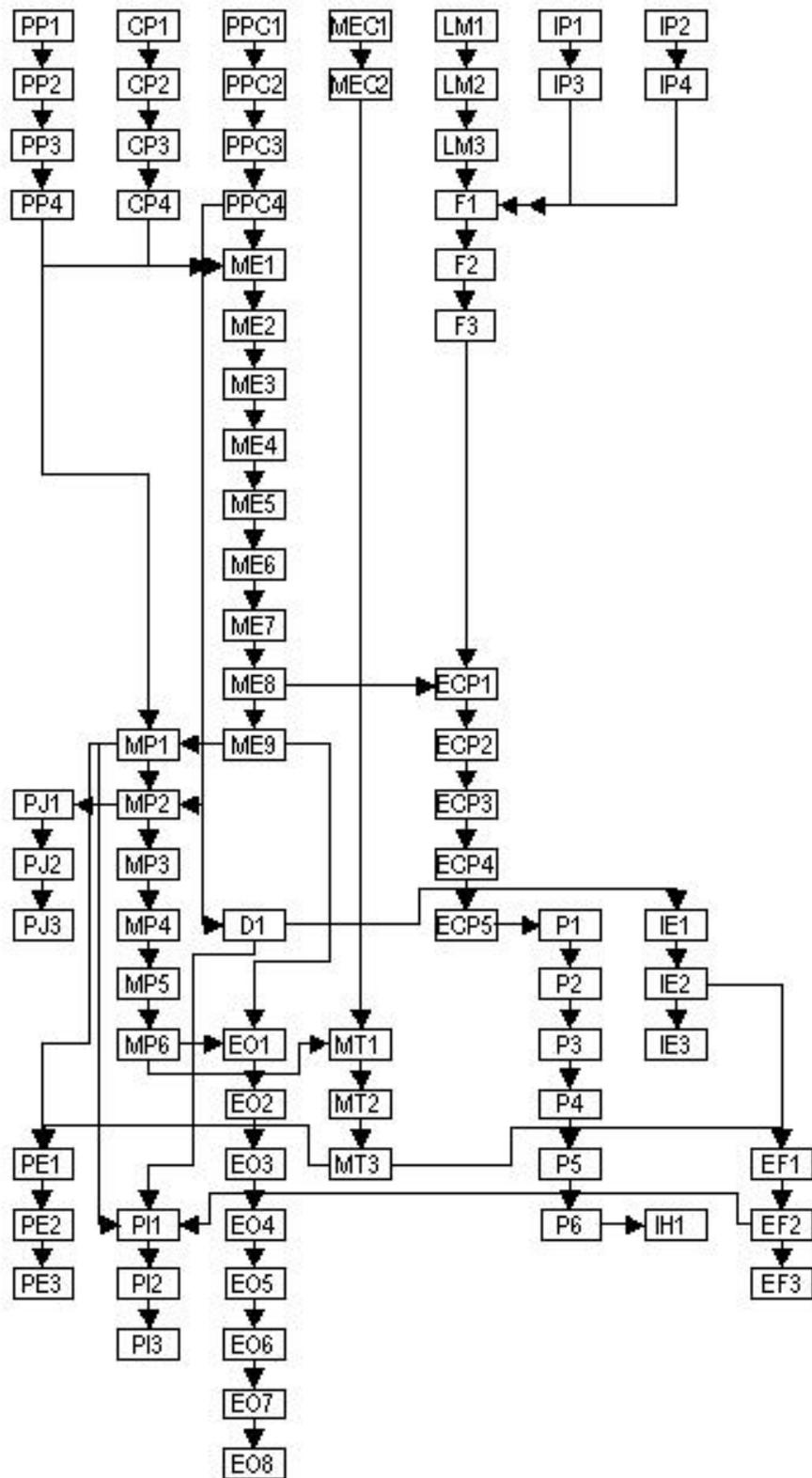


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia QH

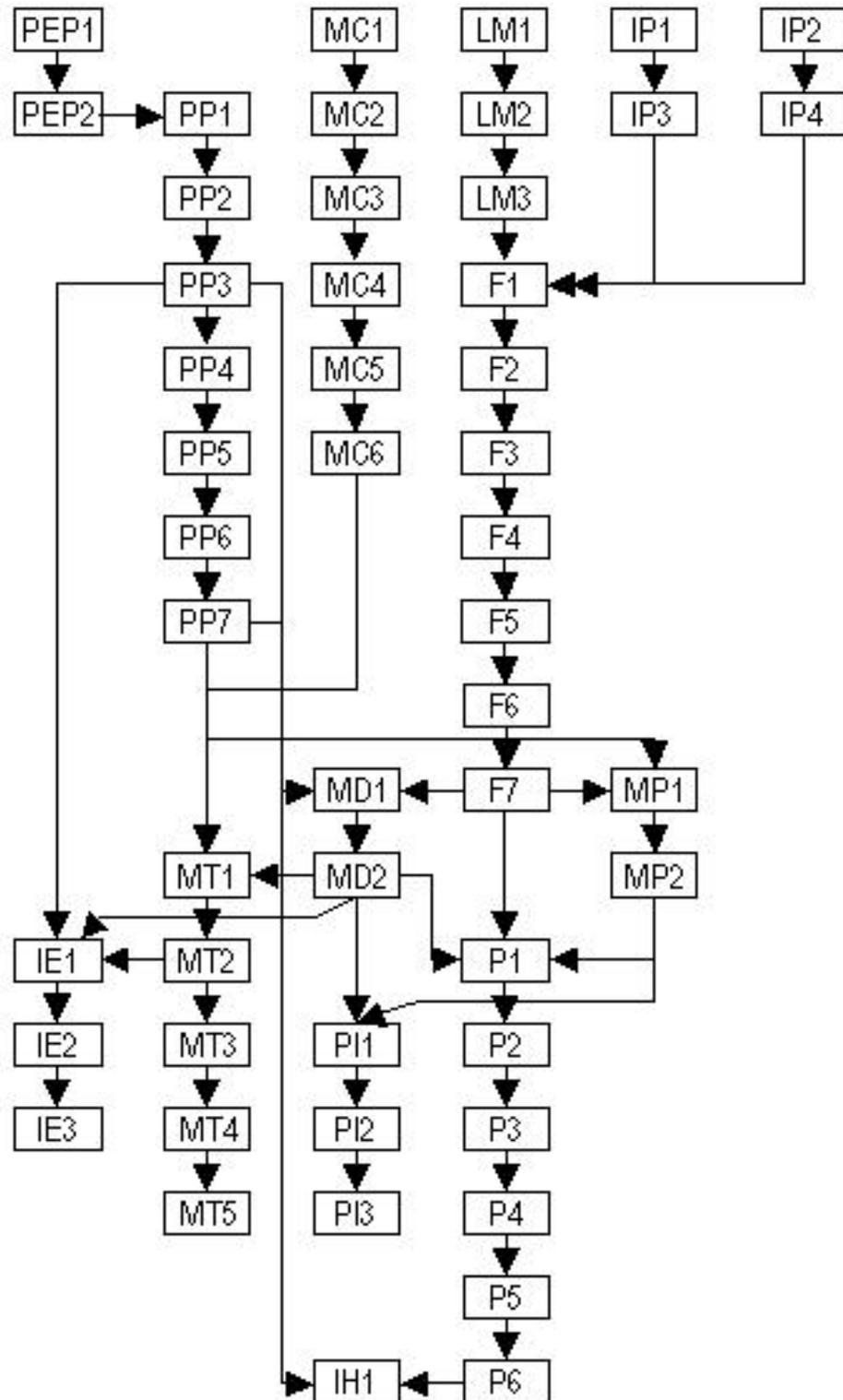


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia RB

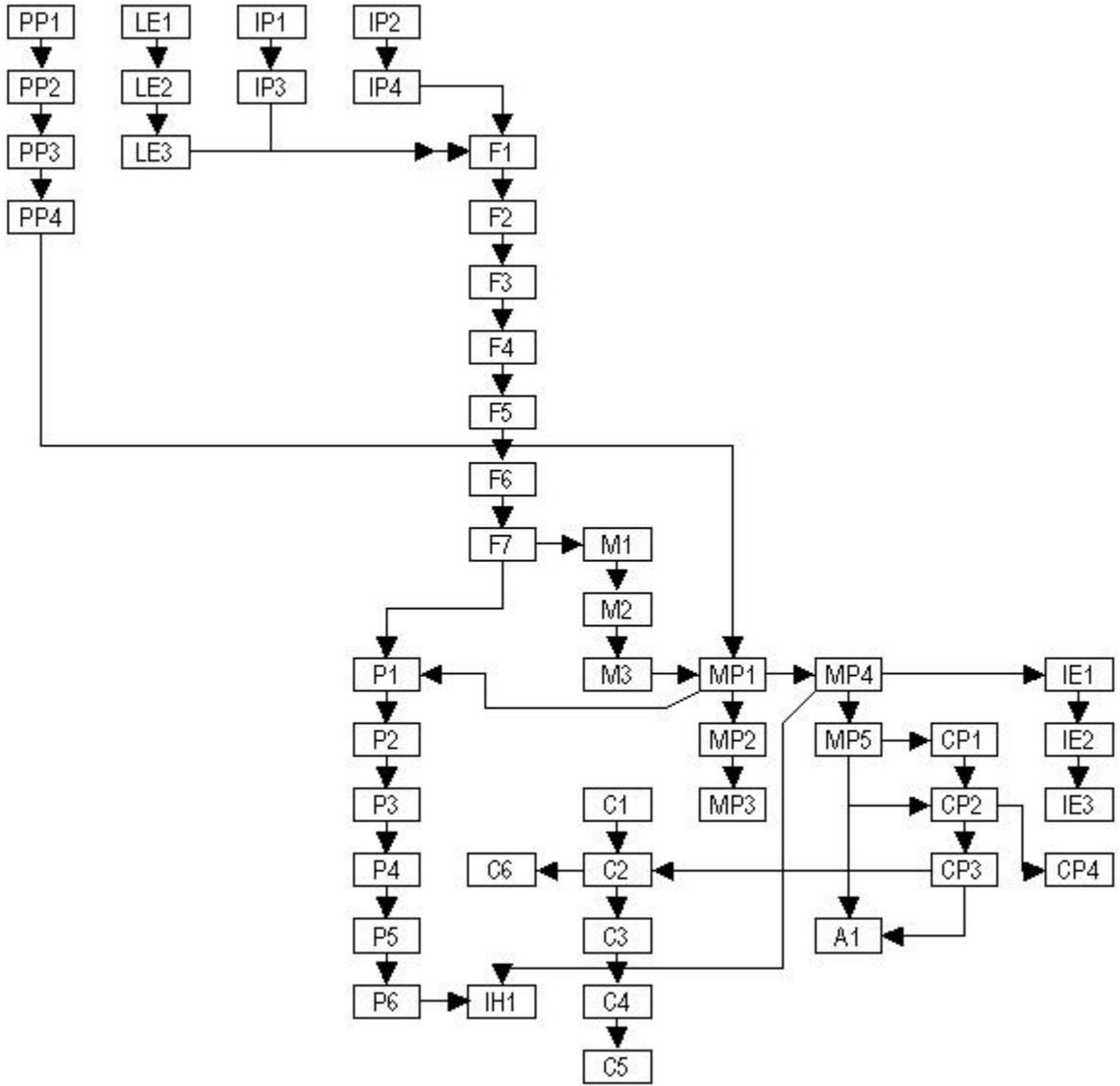


Diagrama adaptado de precedência da tecnologia ST

