

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ELEMENTOS DE ANÁLISE PARA GESTÃO DE PROCESSOS
E DESEMPENHO DE PRODUTOS EM SISTEMAS
CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO COM SISTEMAS QUE
ADOTAM PERFIS AUTO-ENCAIXÁVEIS DE PVC E
CONCRETO**

Silvério Rosa de Souza

Porto Alegre
junho de 2005

SILVÉRIO ROSA DE SOUZA

**ELEMENTOS DE ANÁLISE PARA GESTÃO DE PROCESSOS
E DESEMPENHO DE PRODUTOS EM SISTEMAS
CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO COM SISTEMAS QUE
ADOTAM PERFIS AUTO- ENCAIXÁVEIS DE PVC E
CONCRETO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado
Profissionalizante da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia na modalidade Profissional.

Porto Alegre

junho de 2005

S729e Souza, Silvério Rosa de
Elementos de análise para gestão de processos e desempenho de produtos em sistemas construtivos : estudo de caso com sistemas que adotam perfis auto-encaixáveis de PVC e concreto / Silvério Rosa de Souza. – 2005.

Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientador : Prof. Dr. Hélio Adão Greven

1. Sistemas construtivos. 2. Manuais de construção – PVC.
I. Greven, Hélio Adão, orient. II. Título.

CDU-69.056.5(043)

SILVÉRIO ROSA DE SOUZA

**ELEMENTOS DE ANÁLISE PARA GESTÃO DE PROCESSOS
E DESEMPENHO DE PRODUTOS EM SISTEMAS
CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE CASO COM SISTEMAS QUE
ADOTAM PERFIS AUTO-ENCAIXÁVEIS DE PVC E
CONCRETO**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, janeiro de 2006

Prof. Hélio Adão Greven
Dr. Pela Universidade de Hannover
Orientador

Prof. Carin Maria Schmitt
Coordenadora do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Jairo José de Oliveira Andrade (PUCRS)
Dr. pela UFRGS

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof. Ângela Borges Masuero (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

AGRADECIMENTOS

Ao professor Hélio Adão Greven pela amizade, incentivo, compreensão e orientação para alcançar a conclusão desta pesquisa.

Ao professor Luis Carlos Bonin pela grande colaboração prestada na forma de abordagem deste trabalho.

À professora Carin Maria Schmitt pelo companheirismo e compreensão, como coordenadora do curso em relação às nossas dificuldades de realizar um mestrado profissional.

Ao professor Miguel Aloísio Sattler pelo ensinamento sobre a visão de vida que devemos ter e pela disposição em sempre colaborar.

Ao professor Carlos Torres Formoso por sua valiosa contribuição no embasamento deste trabalho.

Ao arquiteto Sergio Chaves pelo interesse em auxiliar e esclarecer sobre o andamento das obras realizadas com o sistema “A” e sistema “B” por sua construtora em Canoas.

Ao engenheiro Alexandre Pizzato pela colaboração nas informações sobre o sistema “A”.

Ao diretor comercial Carlos Eduardo Torres pela colaboração nas informações sobre o sistema “B”.

Aos professores e colegas da segunda turma de mestrado profissional do NORIE.

Aos meus familiares que, em qualquer grau de parentesco souberam valorizar e compreender a dedicação e empenho despendido para a conclusão deste trabalho, em especial à minha Mãe pelo incentivo e seu exemplo de determinação, garra e vitória em todas suas empreitadas.

À minha esposa pelo seu amor em me estimular e compreender as horas, dias e meses de minha ausência do seu convívio.

Ao Arquiteto do Universo por tudo.

RESUMO

SOUZA, S. R. **Elementos de análise para gestão de processos e desempenho de produtos em sistemas construtivos: estudo de caso com sistemas que adotam perfis auto-encaixáveis de PVC e concreto.** 2005. 172 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

Este trabalho reúne um conjunto de elementos para análise, compondo uma ferramenta de uso simplificado para emprego profissional, com vistas a auxiliar os especificadores e gestores na seleção de tecnologias. A base de análise segue duas vertentes de abordagem: a dos processos envolvidos na gestão da produção e a do desempenho de materiais e produtos componentes em sistemas construtivos. Os processos levantados e estudados através da bibliografia direcionaram o escopo dessa abordagem em seguir os princípios apresentados pela Produção Enxuta, assim como, relativamente ao desempenho de materiais e produtos a linha adotada foi a de seguir os preceitos estabelecidos pelo projeto de norma brasileira que rege o assunto “Norma de Desempenho para Habitações de até Cinco Pavimentos”, em fase de finalização pelo COBRACON. A ferramenta de análise é composta de matrizes de cruzamento de dados e foi testada em estudo de caso comparativo entre duas tecnologias que adotam perfis de PVC, como fôrma e acabamento preenchidos com concreto para constituir suas vedações verticais. O conjunto de elementos selecionados se mostrou eficiente para distinguir vantagens e desvantagens entre ambos sistemas construtivos, por mais semelhantes que sejam.

Palavras-chave: análise de processos; análise de desempenho de materiais; seleção tecnológica; sistema construtivo com perfis de PVC.

ABSTRACT

SOUZA, S. R. **Elementos de análise para gestão de processos e desempenho de produtos em sistemas construtivos: estudo de caso com sistemas que adotam perfis auto-encaixáveis de PVC e concreto.** 2005. 172 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

Analysis elements for management of processes and products performance in constructive systems: case study with systems that use auto-incased profiles of pvc and concrete

This work congregates a set of elements for analysis, composing a simplified-use tool for professional job, sighting to assist the specifiers and managers in the technologies selection. The analysis base follows two sources of boarding: one concerned with the involved processes in the production management and the other related to materials and the component products performance in constructive systems. The processes raised and studied through the bibliography had directed this boarding target in following the principles presented by the Lean Production, as well as relatively to the materials and products performance the used line was to follow the rules established by the project law that regulates the subject “Performance Law for Habitations of up to Five Floors”, in final phase by COBRACON. The analysis tool is composed by matrices for data crossing and was tested in a comparative case study between two technologies that uses PVC profiles, as shape and final touch filled with concrete constituting its vertical closing. The selected elements set shows to be efficient in distinguishing advantages and disadvantages between both constructive systems, even being similar.

Key words: processes analysis; materials performance analysis; technological selection; constructive system with PVC profiles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de processo tradicional	30
Figura 2: Modelo de processo da construção enxuta	32
Figura 3: Modelo de geração de valor	33
Figura 4: Integração dos princípios da produção	42
Figura 5: Integração da visão TFV na produção	43
Figura 6: Indicadores de desempenho	44
Figura 7: Os requisitos de desempenho em gestão de processos	45
Figura 8: Diagrama de operações	52
Figura 9: Fluxograma com ênfase no aspecto funcional	53
Figura 10. Diagrama de precedência	54
Figura 11: Estruturas genéricas de diagramas V-A-T do fluxo de produtos	55
Figura 12: Agentes relevantes para o desempenho da edificação	60
Figura 13: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para segurança estrutural	62
Figura 14: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para estanqueidade	63
Figura 15: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para segurança contra incêndio	65
Figura 16: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para desempenho térmico	65
Figura 17: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para desempenho acústico	66
Figura 18: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para durabilidade e manutenibilidade	68
Figura 19: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para segurança no uso	68
Figura 20: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para saúde, higiene e qualidade do ar	69
Figura 21: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para desempenho lumínico	70
Figura 22: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para conforto tátil e antropodinâmico	71
Figura 23: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para funcionalidade e acessibilidade	71
Figura 24: Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para adequação ambiental	73
Figura 25: Lista de propriedades em uso	75

Figura 26: Metodologia de pesquisa adotada	83
Figura 27: Quadro de classificação	94
Figura 28: Matriz A para análise de processos	96
Figura 29: Matriz B para análise de desempenho de materiais na visão da segurança	97
Figura 30: Matriz C para análise de desempenho de materiais na visão da habitabilidade (parte 1)	98
Figura 31: Matriz C para análise de desempenho de materiais na visão da habitabilidade (parte 2)	99
Figura 32: Matriz D para análise de desempenho de materiais na visão da sustentabilidade	100
Figura 33: Propriedades típicas do pvc	105
Figura 34: Montagem de perfis do sistema “A” em representação esquemática por vista superior	109
Figura 35: Detalhe do perfil principal	109
Figura 36: Detalhe do perfil cantoneira	109
Figura 37: Detalhe do perfil interno	109
Figura 38: Detalhe do perfil adaptado	109
Figura 39: Detalhe do perfil de base	110
Figura 40: Detalhe do perfil tampa	110
Figura 41: Montagem do sistema “A”	110
Figura 42: Fundação com “radier”	111
Figura 43: Representação esquemática do perfil base	112
Figura 44: Perfil base já fixado	112
Figura 45: Impermeabilização na base do perfil	112
Figura 46: Montagem a partir do vértice	113
Figura 47: Quadro de espera para esquadrias	113
Figura 48: Junção de paredes	114
Figura 49: Barras de reforço	114
Figura 50: Vista geral do sistema de cobertura	115
Figura 51: Fixação de porta	116
Figura 52: Perfil de esquadria	116
Figura 53: Revestimento de textura acrílica	117
Figura 54: Tubulação de esgotos e eletrodutos	117
Figura 55: Instalação hidráulica com “shaft”	118
Figura 56: Instalação elétrica	118
Figura 57: Estoque de materiais	119

Figura 58: Organização de estoque do material	119
Figura 59: Perspectiva esquemática da montagem de perfis sistema “B”	121
Figura 60: Perfis de pvc do sistema “B”	121
Figura 61: Perfis de pvc do sistema “B”	121
Figura 62: Armadura para “radier”	122
Figura 63: Gabarito de madeira	123
Figura 64: Escoras de fixação	123
Figura 65: Concretagem das paredes de pvc	124
Figura 66: Aplicação do perfil	124
Figura 67: Laje de concreto na cobertura	124
Figura 68: Junção de laje com paredes	124
Figura 69: Montagem de janela de pvc	125
Figura 70: Desenho explodido da esquadria	125
Figura 71: Janela de pvc instalada	125
Figura 72: Acabamento de “siding” vinílico	125
Figura 73: Perfil condutor elétrico	126
Figura 74: “Shaft” hidrossanitário	126
Figura 75: Caixas de distribuição elétrica e telefônica	127
Figura 76: Detalhe de estoque de materiais	127
Figura 77: Organização do estoque de materiais	127

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CAT: Certificado de Aptidão Técnica.

CIB: *International Council for Building Research Studies and Documentation.*

EPS: poliestireno expandido.

IGLC: *International Group for Lean Construction.*

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

ISO: *International Organization for Standardization.*

JIT: *just in time.*

LAPOL: Laboratório de Polímeros.

LEME: Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais.

MRP: *Material Requirements Planning.*

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação.

PVC: policloreto de vinila.

STP: Sistema Toyota de Produção.

TFV: Teoria da Transformação, Fluxo e Valor.

TPM: *Total Product Maintenance.*

TQC: *Total Quality Control.*

TQM: *Total Quality Management.*

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WBS: *Work Breakdown Structure.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 METODOLOGIA DE PESQUISA	17
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	18
1.3.1 Objetivo Principal	18
1.3.2 Objetivos secundários	18
1.4 DELIMITAÇÕES	19
1.5 ETAPAS DA PESQUISA	19
2 CONCEITOS E PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO	21
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
2.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO	21
2.2.1 O processo de produção em massa	22
2.2.2 O sistema Toyota de produção	23
2.3 A CONTRUÇÃO DA TEORIA DA PRODUÇÃO	28
2.3.1 A origem da construção enxuta	29
2.3.2 Modelo de processo baseado na transformação	29
2.3.3 Modelo de processo baseado em fluxos	31
2.3.4 Modelo de processo baseado no valor	33
2.3.5 Princípios associados da gestão de processos	35
2.3.5.1 Reduzir a parcela de atividade que não agregam valor	36
2.3.5.2 Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades do cliente	36
2.3.5.3 Reduzir a variabilidade	37
2.3.5.4 Reduzir o tempo de ciclo	38
2.3.5.5 Simplificar através da redução do número de passos ou partes	38
2.3.5.6 Aumentar a flexibilidade de saída	39
2.3.5.7 Aumentar a transparência do processo	39
2.3.5.8 Focalizar o controle no processo completo	40
2.3.5.9 Introduzir melhoria contínua no processo	40
2.3.5.10 Manter equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões	41
2.3.5.11 Praticar <i>Benchmarking</i>	41
2.3.6 A teoria da transformação-fluxo-valor (TFV)	41
2.3.7 Métodos e ferramentas de avaliação.....	43

2.3.7.1 Grau de habilidade exigido da mão de obra	45
2.3.7.2 Peso dos elementos construtivos	46
2.3.7.3 Indicador de variedade de materiais	47
2.3.7.4 Grau de dependência por materiais específicos	47
2.3.7.5 Grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos	48
2.3.7.6 Indicador de Eficiência do Desenho dos Processos	49
2.3.7.7 Grau de padronização de operações	50
2.3.7.8 Grau de interdependência de processos	50
2.3.7.9 Grau de separação física de processos	51
2.3.7.10 Indicador de flexibilidade de robustez	51
3 ELEMENTOS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO	56
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	56
3.2 O CONCEITO DE DESEMPENHO	56
3.3 A ABORDAGEM DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES	57
3.3.1 Exigências dos usuários	57
3.3.2 Condições de exposição	59
3.3.3 Requisitos e critérios de desempenho	61
3.3.3.1 Segurança estrutural	62
3.3.3.2 Estanqueidade	62
3.3.3.3 Segurança contra incêndio	63
3.3.3.4 Desempenho térmico	64
3.3.3.5 Desempenho acústico	66
3.3.3.6 Durabilidade e manutenibilidade	66
3.3.3.7 Segurança no uso e operação	67
3.3.3.8 Saúde, higiene e qualidade do ar	69
3.3.3.9 Desempenho lumínico	69
3.3.3.10 Conforto tátil e antropodinâmico	70
3.3.3.11 Funcionalidade e acessibilidade	71
3.3.3.12 Adequação ambiental	72
3.3.4 Métodos de avaliação de desempenho	73
3.3.4.1 Método para medir desempenho estrutural das paredes	76
3.3.4.2 Método de avaliação da proteção contra incêndio	77
3.3.4.3 Método de avaliação de estanqueidade	77
3.3.4.4 Método de avaliação de isolamento térmico	78
3.3.4.5 Método de avaliação de isolamento acústico	78

3.3.4.6 Método de avaliação de durabilidade e manutenibilidade	79
3.3.5 Níveis de desempenho	79
4. MODELO DE ANÁLISE E ESTUDO DE CASO	81
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	81
4.2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	82
4.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA	83
4.3.1 Etapa de investigação	84
4.3.2 Etapa de elaboração da ferramenta	85
4.3.3 Etapa de aplicação e interpretação	86
4.4 TÉCNICAS E FERRAMENTAS ADOTADAS	87
4.4.1 Técnicas e ferramentas para processos de produção	87
4.4.1.1 Critérios adotados para processos	89
4.4.2 Técnicas e ferramentas para análise de desempenho de produtos	90
4.4.2.1 Exigências dos usuários	91
4.4.2.2 Requisitos, critérios e métodos de desempenho	91
4.5 CONSTITUIÇÃO DA MATRIZ	94
4.6 ESTUDO DE CASO	101
5 DESCRIÇÃO DE SISTEMAS QUE UTILIZAM PERFIS DE PVC AUTO-ENCAIXÁVEIS E CONCRETO COMO PAREDES PARA HABITAÇÕES TÉRREAS	103
5.1 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS BÁSICOS RELATIVOS AOS MATERIAIS E PROCESSOS COMUNS A AMBOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	103
5.1.1 Considerações iniciais	103
5.1.2 PVC	104
5.1.2.1 Características e propriedades	104
5.1.2.2 Formulação do PVC	105
5.1.2.3 Impactos ambientais	105
5.1.3 Concreto	106
5.1.4 Adições e aditivos	107
5.1.5 Aço	107
5.1.6 Revestimento	108
5.2 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS BÁSICOS RELATIVOS AOS MATERIAIS E PROCESSOS ENVOLVIDOS NO SISTEMA CONSTRUTIVO “A”	108
5.2.1 Componentes do sistema “A”	109
5.2.2 Processo construtivo do sistema “A”	110
5.2.2.1 Infra-estrutura.....	111

5.2.2.2 Superestrutura	11
5.2.2.3 Sistemas de cobertura	115
5.2.2.4 Portas e janelas	115
5.2.2.5 Acabamentos	116
5.2.2.6 Instalações hidrossanitárias e elétricas	117
5.2.2.7 Logística e estoques	119
5.2.3 Desempenho	119
5.3 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS BÁSICOS RELATIVOS AOS MATERIAIS E PROCESSOS ENVOLVIDOS NO SISTEMA CONSTRUTIVO “B”	120
5.3.1 Materiais componentes do sistema “B”	120
5.3.2 Processo construtivo do sistema “B”	122
5.3.2.1 Infra-estrutura	122
5.3.2.2 Superestrutura	122
5.3.2.3 Sistema de coberturas	123
5.3.2.4 Portas e janelas	124
5.3.2.5 Acabamentos	125
5.3.2.6 Instalações hidrossanitárias e elétricas	126
5.3.2.7 Logística e estoques	127
5.3.3 Desempenho	128
6 ANÁLISE DOS SISTEMAS “A” E “B” A PARTIR DA GESTÃO DE SEUS PROCESSOS E DESEMPENHO DE SEUS MATERIAIS	129
6.1 ANÁLISE DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NOS SISTEMAS “A” E “B” ...	130
6.1.1 Reduzir estoque	130
6.1.2 Permite nível mais baixo de habilidade do operário	131
6.1.3 Utiliza elementos construtivos mais leves	133
6.1.4 Menor número de fornecedores	134
6.1.5 Menor variação de materiais	135
6.1.6 Não depende de fornecedores específicos	136
6.1.7 Padronizar os componentes e métodos	137
6.1.8 Reduz número de etapas em obra	138
6.1.9 Reduzir número de processos em série	139
6.1.10 Possibilita flexibilidade de composição do produto final	140
6.1.11 Captura e atinge requisitos do cliente interno e externo	141
6.1.12 Evita o desperdício de materiais	142
6.2 ANÁLISE DOS DESEMPENHOS DE PRODUTOS ENVOLVIDOS NOS SISTEMAS “A” E “B”	143

6.2.1 Estado limite último	143
6.2.2 Ignição em instalações elétricas e vazamentos de gás	143
6.2.3 Propagação superficial de chamas e resistência dos elementos construtivos ao fogo	143
6.2.4 Segurança na utilização dos elementos	144
6.2.5 Segurança na utilização das instalações	144
6.2.6 Estanqueidade à água de chuva e umidade do solo	144
6.2.7 Estanqueidade à água utilizada na operação e manutenção do imóvel	144
6.2.8 Níveis de desempenho para as condições de verão	145
6.2.9 Níveis de desempenho para as condições de inverno	145
6.2.10 Isolação ao som aéreo do exterior	145
6.2.11 Isolação ao som aéreo por paredes internas	146
6.2.12 Níveis mínimos de iluminação natural	146
6.2.13 Prevenção contra contaminação da água potável	146
6.2.14 Adequação das instalações hidrossanitárias	146
6.2.15 Ampliação de unidades evolutivas	147
6.2.16 Adequação ergonômica de dispositivos	147
6.2.17 Força necessária para o acionamento de dispositivos	147
6.2.18 Prazos de garantia de componentes	147
6.2.19 Proteção para a corrosão, durabilidade das madeiras contra inseto e fungos, durabilidade de metais e durabilidade de plásticos	148
6.2.20 Condições para limpeza e manutenção de componentes	148
6.2.21 Racionaliza o consumo de recursos naturais	148
6.2.22 Utiliza materiais de baixo impacto ambiental	148
6.2.23 Reduz geração de resíduos em obra	149
6.2.24 Adota energia de fontes renováveis	149
6.3 FACILIDADES, DIFICULDADES, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS “A” E “B”	149
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
REFERÊNCIAS	156
APÊNDICE A	160
APÊNDICE B	171

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta altas taxas de crescimento populacional e possui déficit habitacional de mais de 6,5 milhões de moradias, em especial nas zonas urbanas, o que reflete a necessidade de mudanças na política governamental e a premente busca de novas tecnologias construtivas que viabilizem qualidade com baixo custo, portanto, prioridade para a construção civil e seus gestores (IBGE, 2002).

Uma das grandes dificuldades dos empreendedores, agentes financeiros e promotores da habitação atuantes na esfera privada ou pública em nível federal, estadual ou municipal está na escolha da melhor alternativa tecnológica, em termos de processo ou sistema construtivo, que atenda suas necessidades e demandas. Via-de-regra acaba por enfrentar situações de oferta variada sem o prévio conhecimento das características, desempenho técnico, condições de emprego e utilização (ZENHA et al., 1998).

A ocorrência de complexos mecanismos sócio-econômicos e culturais, onde se inclui o desenvolvimento industrial, o crescimento vegetativo, os mercados de trabalho, a migração, a distribuição de renda, a importação de tecnologias e outros, evolui cada vez mais a demanda por habitações em nossas cidades, concomitantemente com a verificação de mudanças profundas no que tange aos padrões tradicionais da construção habitacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O processo de industrialização global tem sido referência para a construção civil, que o tem acompanhado com muita lentidão. Embora utilizando técnicas construtivas industrializadas e em abandono aos processos artesanais substituídos por trabalhos mecanizados e melhor organizados, este setor segue apresentando características arcaicas, por falta de padronização de materiais, por falta de modulação nas peças, por trabalhar com muitos elementos de

dimensões discordantes e, principalmente, por basear os métodos de produção na mão-de-obra e não em processos, técnicas e equipamentos, além de outros motivos (DUARTE, 1982).

Os processos de produção nas obras civis podem ser classificados em três categorias sob o aspecto tecnológico: tradicional, convencional e industrializado. O processo tradicional envolve a utilização dos elementos básicos da construção elaborados dentro do próprio canteiro e com intensa utilização de mão-de-obra artesanal. Já o processo convencional utiliza elementos elaborados dentro da construção e adota uso intenso de mão-de-obra pela divisão do trabalho, mas também reúne uma grande diversidade de materiais e componentes fornecidos prontos pela indústria da construção civil, assim como, lança mão de equipamentos diversos para facilitar a execução dos serviços, o que implica em uma parcial mecanização. Por outro lado, o processo industrializado emprega menos intensidade de força de trabalho em canteiro, baseando-se na mecanização e racionalização de todas etapas do processo de construção. No Brasil predominantemente observa-se a combinação de técnicas artesanais e convencionais com métodos mecanizados, onde as máquinas substituem o homem nas tarefas mais pesadas ou perigosas. Este panorama está em transformação, especialmente com a introdução de pré-moldados, em processos convencionais gerou-se uma adaptação para a busca de produtividade sem perder a diversificação e especificidades do setor, o que não seria possível para o processo industrializado total (SOUZA, 1987)

A grande maioria das edificações geradas por sistemas considerados industrializados não atende por completo esta modalidade construtiva, pois são executados de forma similar aos sistemas convencionais, trocando apenas alguns subsistemas, como fechamento interno e externo ou a estrutura. A padronização de elementos está diretamente ligada com a adoção de sistemas modulares unificados, que atendam a várias funções dentro do sistema construtivo e que basicamente sejam pré-moldados produzidos em fábrica, onde se obtém maior grau de uniformidade e acabamento, além de simplificar os processos em obra (DUARTE, 1982).

Os sistemas construtivos compostos por perfis de PVC preenchidos com concreto representam uma tecnologia inédita no mercado brasileiro recente, onde o domínio de emprego é limitado e ainda restrito a poucas experiências. A inovação lançada por dois fabricantes que possuem o mesmo princípio construtivo torna oportuno o estudo das características gerais de

aplicabilidade destas novas alternativas, possibilitando avaliar as potencialidades de suas implementações no Rio Grande do Sul e, até mesmo, em todo Brasil (informação verbal).¹

O presente estudo se insere em um contexto mundial de busca por sistemas construtivos alternativos com tecnologias inovadoras, que obtenham ganhos de produtividade significativos em relação aos métodos convencionais empregados.

O tema central da pesquisa consiste em selecionar elementos de avaliação disponíveis no âmbito do conhecimento acadêmico, que sejam capazes de traduzir as potencialidades dos sistemas construtivos eleitos, enfocando basicamente a gestão dos processos destas tecnologias juntamente com a abordagem de desempenho dos materiais envolvidos. Esta dualidade na avaliação permitirá uma compreensão sistêmica mais completa da modalidade tecnológica em estudo, pois será contemplada a visão de montagem em canteiro até a conclusão da obra e a visão de comportamento futuro de utilização.

A escolha de materiais e técnicas na fase de projeto tem implicação na produtividade e na seqüência das etapas de obra, nas necessidades de manutenção durante a vida útil do imóvel e no destino futuro dos materiais quando de sua demolição. A eficiência e eficácia de novas tecnologias devem ser analisadas sob o ponto de vista da durabilidade dos materiais empregados, rapidez de montagem na execução, flexibilidade de uso e aplicações, facilidade de compreensão pelos executores, redução energética e de resíduos gerados no canteiro de obras, dentre outros (informação verbal).²

1.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia adotada nesta pesquisa envolve três fases distintas: a primeira buscou levantar através de investigação bibliográfica junto ao meio acadêmico e sítios eletrônicos institucionais, elementos sobre o tema escolhido suas aplicações e tendências, apresentada no capítulo 2 e capítulo 3, além disso, buscou-se inovações sobre os procedimentos atualmente adotados por fabricantes dos sistemas construtivos eleitos em atuação no Brasil, onde os

¹ Informação verbal prestada pelo Dr. Ing. Hélio Adão Greven em meados de 2003 durante orientação recebida para este trabalho.

² Informação verbal obtida de arq. Sérgio Chaves, construtor dos sistemas “A” e “B” na cidade de Canoas em entrevista realizada no final de 2003.

dados foram compilados no capítulo 5. A segunda fase formulou um conjunto de elementos de análise baseado nos levantamentos feitos na primeira fase e selecionou ferramentas para compor uma matriz de cruzamento de dados, apresentada no capítulo 4. A terceira fase avaliou através de matriz os dados obtidos junto aos fabricantes com a aplicação das ferramentas de avaliação de processos e métodos de avaliação de desempenho dos materiais selecionados na segunda fase, caracterizada no capítulo 6, além de incluir o resultado de análises feitas sobre os dois sistemas estudados através das considerações finais, apresentadas no capítulo 7.

1.3 Objetivos da pesquisa

1.3.1 Objetivo principal

Elaborar uma ferramenta simples para a seleção tecnológica, contendo um conjunto de elementos para análise dos processos envolvidos paralelamente com um conjunto de elementos para análise de desempenho dos materiais componentes.

1.3.2 Objetivos secundários

- a) Verificação da aplicabilidade da ferramenta no comparativo do estudo de caso entre dois sistemas construtivos semelhantes que utilizam perfis de PVC auto-encaixáveis;
- b) caracterização dos processos e materiais envolvidos nos sistemas construtivos do estudo de caso;
- c) avaliação das facilidades, dificuldades, vantagens e desvantagens de implementação dos sistemas do estudo de caso.

1.4 Delimitações

- a) O presente trabalho limita a análise do estudo de caso em dois sistemas de origem canadense, um deles aqui chamado de sistema A, produzido mediante licença por empresa do ramo de industrialização do PVC situada em Porto Alegre, e outro, chamado de sistema B, produzido na Argentina por uma das fábricas do grupo, mediante levantamentos realizados durante o ano de 2003;
- b) não se fará análise de canteiro, porém será apresentado registro fotográfico do acompanhamento das diversas fases da execução de residências térreas situadas em conjunto habitacional na cidade de Canoas, RS, com a construção de 130 unidades, das quais, oito pertencentes ao sistema A e o restante ao sistema B;
- c) o estudo estará limitado aos componentes verticais estruturais e de vedação característicos da tecnologia, assim como, suas interfaces e implicações com outros elementos constituintes dos sistemas, apenas para habitações térreas;
- d) os elementos determinados para fazerem parte da amostragem de análise serão: fundações, paredes, instalações hidrossanitárias e elétricas, coberturas, esquadrias e revestimentos aplicados sobre paredes;
- e) a pesquisa não tem a finalidade de apresentar teorias que possibilitem a generalização dos resultados obtidos e, sim, descrever e analisar as características relevantes dos processos e o desempenho dos materiais constituintes dos sistemas, a partir do que é proposto pelos fabricantes e do que foi coletado pelo pesquisador ;
- f) não é pretensão do trabalho criar um método completo de avaliação de processos construtivos ou de desempenho de materiais;
- g) a análise dos processos pertinentes às tecnologias estudadas restringe-se à gestão da produção em obra, excetuando da análise qualquer tipo de processo prévio ou posterior a esta, tal como o processo de projeto;
- h) a análise de desempenho estará restrita às informações prestadas pelos fabricantes.

1.5 ETAPAS DA PESQUISA

A presente pesquisa terá caráter descritivo e analítico, a partir do levantamento das características técnicas apresentadas por dois sistemas construtivos, os quais utilizam perfis de PVC como fôrma e acabamento para paredes de concreto introduzido internamente.

A etapa inicial da pesquisa se refere à revisão bibliográfica acerca dos processos envolvidos pelos sistemas construtivos, que utilizam perfis de PVC como molde para o concreto injetado no seu interior e acabamento superficial na composição de paredes, além de revisar na literatura a performance dos materiais envolvidos na construção dos elementos pertencentes ao escopo de análise. Paralelamente será feita a coleta de todo material técnico fornecido por ambos fabricantes, incluindo manuais, relatórios, laudos e peças de composição.

Os sistemas a serem estudados são inéditos e recentes como aplicação no Brasil, portanto será feito registro fotográfico apenas na cidade de Canoas, onde já existem exemplares em execução de ambos sistemas, em conjunto habitacional lançado há poucos meses do início deste trabalho.

A segunda etapa envolve a seleção de ferramentas de análise para a gestão de processos em ambos sistemas construtivos, além da seleção de parâmetros para análise de desempenho dos materiais envolvidos nas tecnologias.

A terceira etapa compreende a interpretação e análise de todo material fornecido pelos fabricantes e a sistematização dos resultados obtidos pela aplicação de uma matriz montada com as ferramentas , o que será feito através de tabelas comparativas e relatórios de procedimentos diferenciais entre o recomendado e o executado, assim como, descrição de adaptações realizadas, resultando no relatório final de pesquisa, o qual descreverá analiticamente as diferenças entre o recomendado e o aplicado em ambos sistemas construtivos.

2 CONCEITOS E PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Para que possamos analisar um determinado sistema construtivo é necessário eger os elementos que regerão o escopo da análise. Relativamente aos processos envolvidos buscamos conceitos elaborados ao longo de décadas e os que atualmente encontram-se em desenvolvimento no âmbito da construção civil mundial. Por outro lado, quanto aos materiais, o trabalho enfoca o desempenho destes sistemas baseado em técnicas de ensaios parametrizadas pelas normas técnicas Brasileiras ou, na falta destas, suportadas por normas internacionais reconhecidas.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo faz um apanhado dos elementos necessários para compor uma ferramenta de análise dos processos envolvidos em um determinado sistema construtivo como base para um estudo de caso.

2.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Observa-se atualmente no país a introdução de uma grande variedade de materiais, componentes e equipamentos voltados à indústria da construção civil. Para inovar tecnologicamente não basta a utilização de um novo produto, mas a adoção de um enfoque sistêmico do mesmo quando inserido no processo de produção ao qual pertence (SILVA,1997).

A inovação tecnológica significa o aperfeiçoamento técnico resultante de atividades de pesquisa e desenvolvimento de produto, aplicados ao processo de produção objetivando a melhoria de qualidade, desempenho ou custo da obra, ou de uma parte dela (BARROS, 1996).

Nesta primeira parte do capítulo serão abordadas as questões relativas ao histórico da gestão de processos envolvidas nos sistemas construtivos. A seleção de elementos de análise buscou configurar a gestão dos processos de produção através de alguns preceitos já estabelecidos, porém com visão atualizada, como é o caso da nova filosofia da produção ou a produção enxuta. Portanto, para dar subsídios à compreensão desta, segue a abordagem da produção em massa e posteriormente o Sistema Toyota de Produção (STP), com suas origens e princípios.

2.2.1 O processo de produção em massa

O primeiro paradigma³ voltado para o gerenciamento da produção possuía seu foco voltado para a melhoria das operações com aperfeiçoamento em maquinário e racionalização do trabalho de pessoas envolvidas na produção. Taylor padronizou o trabalho e considerava que o processo era dividido em partes, para que a melhoria de cada parte trouxesse eficiência ao todo (ANTUNES JUNIOR, 1998).

Enquanto Taylor padronizou o trabalho em partes, Henry Ford preocupou-se com o intercâmbio e a padronização das peças, além da facilidade de montagem na linha de produção. A nova sistemática implementada por Ford, chamada por ele de “produção em massa”, desonerou drasticamente a produção de automóveis até então feitos artesanalmente e aumentou consideravelmente a qualidade dos produtos entregues (WOMACK et al., 1992).

A razão básica para o êxito deste sistema inovador, frente à forma de produção anterior, implicava no perfeito intercâmbio das bitolas e medidas padronizadas em toda linha de produção, o que gerava facilidades de ajuste, assim como o operário realizava apenas uma operação comandando máquinas com o simples aperto de um botão ou o puxar de uma alavanca, máquinas estas capazes de realizar uma tarefa apenas. Isto minorava custos sem a necessidade de grande qualificação de mão-de-obra (WOMACK et al., 1992).

A *Ford Motor Company* alcançou grande sucesso em vendas por oferecer veículos com baixo preço, visando além dos consumidores externos, também os operários como compradores potenciais. No entanto, passado algum tempo as vendas entraram em declínio pois Ford não

³ A palavra paradigma significa “uma constatação de crenças, valores, técnicas, etc., partilhadas pelos membros de uma comunidade” (KUHN, 1995 apud ANTUNES JUNIOR, 1998).

se preocupava em diversificar a linha de produção com ofertas diferentes (ANTUNES JUNIOR, 1998).

Quando o executivo Alfred Sloan entrou na *General Motors* duas inovações ocorreram: uma no plano administrativo dos empreendimentos buscando a divisão descentralizada e a outra na diversificação dos produtos para todos os propósitos e condições de pagamento. Implementou sistemas administrativos para equacionar problemas nas operações de engenharia, introduziu técnicas de marketing e métodos de previsão de demanda (WOMACK et al., 1992).

Neste contexto, as propostas levantadas por Taylor baseadas na divisão do trabalho e adaptadas por Ford com a padronização das peças e operações e aperfeiçoadas com as idéias gerenciais desenvolvidas por Sloan formaram um conjunto de técnicas, que se manteve hegemônico até a década de 70, porém ainda adotada nos dias de hoje (ANTUNES JUNIOR, 1998).

2.2.2 O sistema Toyota de produção

A produção tem sido discutida nas últimas décadas a partir de grande aparato de técnicas e modelos buscando aperfeiçoamento, agilidade, redução de perdas, custos e tempo de produção basicamente orientados para operações. No entanto, atualmente tem surgido uma mudança de postura administrativa, um novo paradigma chamado de produção enxuta, criado a partir de estudo elaborado por Womack et al. (1992), que pesquisou as diferentes práticas adotadas nos modelos e sistemas de produção das indústrias automobilísticas deste século.

Neste estudo, especial atenção foi dada à empresa japonesa *Toyota Motor Company*, que apresentou uma dinâmica diferente de coordenar a produção em sua linha de montagem a partir da década de 1950, onde a produção de bens e serviços acontecia por cadeias de fluxos atendendo a novos princípios que privilegiavam os processos, abstraindo os conceitos de operações tão estudados naquele momento.⁴

⁴ Informações obtidas em apostilas de aula fornecidas pelo professor PhD. Carlos Torres Formoso em 2001.

O sistema *Toyota* de Produção alicerçava-se em dois sustentáculos conceituais: o *just-in-time* (JIT)⁵ e a automação com toque humano, conforme Ohno (1997). O JIT trabalha com a idéia de estoque zero, ou seja, o insumo chega à linha de montagem somente no momento e quantidade adequados. Portanto, para que funcione bem o sistema de produção, os fluxos precisam estar bem ajustados, com o intuito de evitar interrupções imprevistas por falta de componentes (SHINGO, 1996).

Por sua vez a automação com toque humano desenvolvida pelo Sistema *Toyota* implicava na parada automática das máquinas quando algum problema fosse detectado, possibilitando que todas pessoas envolvidas na linha de montagem compreendessem o problema ocorrido e buscassem a melhoria do processo (OHNO, 1997).

A Toyota promoveu um conjunto de procedimentos e sistemas para auxiliar a implantação do JIT e a automação com toque humano, dentre os quais o sistema *Kanban*,⁶ o sistema de redução de tempo de *setup*, o controle de qualidade, o sistema de relações em vendas, o treinamento de colaboradores e outros (HOPP; SPEARMAN, 1996 apud SOARES, 2003, p.28).

O famoso sistema *Kanban* foi idealizado a partir da observação dos supermercados para operacionalizar o JIT, onde os produtos são repostos nas prateleiras somente após a venda, o que reduz estoques e o *work-in-progress* ou trabalho em progresso, caracterizando o *pull system* ou sistema puxado de produção que auxilia no controle do JIT (SHINGO, 1996). Já o *kanban* adotado na *Toyota* pode ser representado por uma anotação em papel que acompanha a peça em seu fluxo esclarecendo as etapas de coleta, de transferência e de produção.

O cerne da nova teoria está no combate ao desperdício, por isso é chamada por Womack et al. (1992) no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” de produção enxuta, onde tudo pode ser feito com menor quantidade de material, em menor tempo, com menos esforço dos operários, com menos capital investido, com grande redução de estoques e melhores resultados de qualidade e variedade, comparativamente à produção em massa.

As perdas na construção civil têm sido o grande vilão da péssima imagem frente à nossa sociedade. Estudo realizado pelo NORIE/UFRGS aponta para entre 5% e 12% o índice de

⁵ O just in time significa que no fluxo de produção as partes de um produto chegam na linha de produção apenas no momento e na quantidade necessárias (OHNO, 1997).

perdas relativamente a análise de cinco materiais básicos empregados nos processos construtivos convencionais, os quais representam em torno de 20% do custo total de uma obra.

É necessário entender a diferença entre as atividades indispensáveis para a obtenção do produto final e as atividades complementares que podem ser aperfeiçoadas ou suprimidas sem prejuízo para o desenrolar do processo construtivo, ou seja, as atividades que adicionam valor e as que não adicionam valor ao produto. Muito embora algumas destas sejam importantes no auxílio das atividades que adicionam valor, estas não são consideradas perdas, porém devem ser otimizadas por constituírem custos. Já as atividades consideradas desnecessárias para a formulação do produto final são as perdas que efetivamente podem ser banidas do processo por não adicionar nenhum valor (COSTA, 1998).

A perda pode ser entendida como qualquer ineficiência resultante do uso de materiais, equipamentos, capital e mão-de-obra, excedente ao estritamente necessário para o desenvolvimento do produto, enfatizando desta forma que as perdas não ocorrem unicamente no campo dos materiais.⁷

Estudos realizados na Inglaterra em habitações executadas com processos construtivos tradicionais resultaram na comprovação de que muitas perdas de materiais são evitáveis, pois o índice de perdas em obras similares era variável, este estudo mostrava também que o manuseio e a armazenagem são responsáveis por três vezes mais desperdício que os outros motivos em conjunto. A grande falha paira no mau gerenciamento em qualquer nível e não existe necessariamente vinculação com as construtoras e sim com as pessoas e o canteiro envolvidos (SKOYLES apud COSTA, 1998).

A busca constante pela eliminação do desperdício, portanto, é a grande bandeira do Sistema Toyota de Produção (STP). A palavra perda significa o resultante de custos gerados por qualquer ação que não adicione valor ao produto ou serviço a que está vinculada, segundo definição de Antunes Júnior (1998), e pode ser esclarecida através de sete características, conforme Formoso et al. (1996) definem:

⁶ A palavra *Kanban* caracteriza o uso de uma ficha de controle que acompanha os produtos com informações de: coleta, transferência e produção durante seus fluxos de produção (OHNO, 1997 apud SOARES, 2003).

⁷ Informações obtidas em apostilas de aula fornecidas pelo professor PhD. Carlos Torres Formoso em 2001.

- a) **perda por estoque** é gerada quando produtos ou componentes ficam parados aguardando alguma ação, podendo ocorrer quando o prazo de entrega fica longo em relação ao ciclo de produção contra-pedido. Segundo Formoso et al. (1996), uma solução seria diminuir o tempo de ciclo de produção, e outra forma de reduzir estoques se faria pela produção em pequenos lotes. O mesmo autor salienta que a premência de estoque pode ser minorada com a redução do *lead time*, através da utilização de trabalhadores multifuncionais, da redução do tempo de *setup*,⁸ da redução de quebras das máquinas com manutenção preventiva, de trocas rápidas de ferramentas e da utilização de controle de qualidade;
- b) **perda por espera** pode se dar de duas maneiras, uma por processo, onde componentes aguardam o processamento, a inspeção e transporte de outro componente, outra por lote, onde a espera é de um lote inteiro por outro lote em processamento, inspeção ou transporte. Conforme Formoso et al. (1996), a espera pode ser minorada ou até eliminada com a sincronização e equalização entre os processos, na busca da variabilidade nula;
- c) **perda por transporte de materiais** pode ser melhorada com a reformulação de *layout* da área de produção diminuindo distâncias e deslocamentos entre áreas de estocagem e processamento, assim como, os meios de transportes devem ser racionalizados ao máximo;
- d) **perda por processamento** ocorre quando algumas parcelas do processamento não adicionam valor ao produto, podendo eventualmente ser eliminadas sem comprometer a composição e qualidade do produto final. Neste caso Formoso et al. (1996) recomendam melhorias direcionadas para a engenharia e análise de valor do produto, com o objetivo de reduzir estas parcelas de perda;
- e) **perda por superprodução** ocorre quando a quantidade de peças produzidas ultrapassa a necessidade de demanda, ou quando estas são feitas antes do momento adequado para seu consumo;
- f) **perda por produtos defeituosos** ocorre quando as inspeções são feitas por amostragem e os produtos defeituosos não são descobertos. De acordo com Shingo (1996) deve ser feita inspeção em 100% das peças, através de técnicas de controle na fonte, verificações constantes e auto-inspeção;
- g) **perda por movimento dos trabalhadores** ocorre devido a fatores psicológicos, humanos e pela fisiologia do trabalho, gerando movimentos desnecessários para a realização das tarefas. Especial atenção deve ser dada a estes fatores no intuito de reduzir as perdas;

Estudo feito por Costa (1998) classificou mais dois tipos de perdas além das anteriores:

⁸ A palavra *setup* implica em operações de preparação anteriores e posteriores à operação, ajuste e remoção de ferramentas ou matrizes (SHINGO, 1996).

- a) **substituição**- relacionada com a utilização de materiais, mão-de-obra ou equipamentos com especificação de qualidade ou desempenho acima do especificado ou apropriado para o desempenho da atividade;
- b) **outras**- são as perdas não citadas acima como: furtos, vandalismo, equipamentos sem funcionar, intempéries, acidentes, etc.

O *Sistema Toyota de Produção* apresenta ainda dois importantes conceitos: o de retrabalho e o de agrupamento de trabalhadores por equipe. O retrabalho é considerado uma atividade que não agrega valor ao produto final e ocorre quando uma peça ou lote não satisfaz as características básicas intrínsecas ao produto desejado. Esta peça ou lote volta para ser reprocessada gerando perdas por defeitos identificados quando da inspeção, porém, o STP considera preferível haver o retrabalho, ao invés de manter o defeito multiplicando-se ao longo da linha de produção, como ocorria na produção em massa (WOMACK et al., 1992).

O conceito de agrupar os trabalhadores em equipes orientadas por um líder participante, com desempenho de tarefas correlatas ao seu trabalho como limpeza, pequenos reparos em ferramentas e controlar a qualidade na sua área de produção, isto se contrapõe à sistemática da Produção em Massa, de utilizar supervisores para desempenhar a função de apenas controlar. Segundo Shingo (1996), a *Toyota* desenvolveu um sistema de gestão total onde a habilidade humana era levada ao máximo da capacidade, para que a criatividade desenvolvida levasse o trabalhador a reduzir perdas em utilizar as máquinas e instalações melhor.

Nos últimos anos, a falta de planejamento têm sido apontada por diversos estudiosos como a principal razão para a ocorrência de perdas no sub-setor construção civil, Isto mostra a necessidade de se desenvolver trabalhos mais aprofundados nesta área para que o desempenho dos processos melhore (SOIBELMAN, 1993). Neste sentido, a nova filosofia de produção para a construção civil, em outras palavras a construção enxuta, pode auxiliar através de seus conceitos, princípios e práticas a promover avanços gerenciais com o objetivo de desenvolver o processo de planejamento e controle da produção, reduzindo assim, as perdas indesejáveis (HOWELL, 1999).

2.3 A CONSTRUÇÃO DA TEORIA DA PRODUÇÃO

A produção enxuta estabelece uma nova postura conceitual frente ao sistema produtivo tradicional até então baseado na produção em massa, onde a divisão do trabalho e a produtividade foram os alicerces, de acordo com Shingo (1996). Este paradigma ultrapassado promovia seqüelas no sistema, como a superprodução gerada pela produção empurrada, criando grandes estoques que significavam custos imobilizados, a flexibilidade de saída inexistente por não permitir modificações no produto final e a redução no valor unitário de venda dos serviços e bens produzidos.

Por outro lado, o pensamento enxuto não se confronta diretamente com outras metodologias de controle gerencial ou operacional como o *just in time*, o *total quality control* (TQC), assim como, o *total product maintenance*, ou o *total quality management* (TQM) e sim auxilia na adequação de aplicação de suas ferramentas e princípios para atingirem maior eficiência nos seus processos produtivos (WOMACK et al.,1992).

Com a aplicação dos conceitos da produção enxuta na gestão dos processos envolvidos no sistema de produção estabelece-se o mapeamento, simulações e previsões mais exatas, com atenção voltada para os fluxos de valor que permeiam as interfaces entre a cadeia produtiva e as funções gerenciais da empresa aumentando o desempenho do processo (SHINGO,1996).

Segundo Koskela (2000), uma teoria para a produção auxilia no esclarecimento dos comportamentos observados, assim como na compreensão dos processos envolvidos e na previsão dos comportamentos futuros.

A teoria da produção subdivide-se em três níveis hierárquicos inseridos em uma representação de triângulo, onde o mais alto nível refere-se às noções conceituais que norteiam esta, o nível intermediário descreve as relações entre os conceitos através de princípios heurísticos e o nível mais baixo representa as práticas, ferramentas e métodos a serem aplicados segundo os conceitos e princípios estabelecidos (KOSKELA, 2000).

A teoria da produção intitulada por Koskela de TFV (Transformação, Fluxos e Valor) mostra enfoques alicerçados em três conceitos básicos, ou seja, o conceito de transformação, o conceito de fluxo e o conceito de valor. Porém, os princípios apresentados em 1992 pelo

mesmo autor não sofreram alterações substanciais frente ao novo trabalho apresentado em 2000, conforme coloca Bernardes (2001).

Nos próximos itens serão abordados a origem, conceitos e métodos de aplicação para a teoria da produção com direcionamento para a construção civil.

2.3.1 A Origem da Construção Enxuta

A indústria da construção civil mundial vem ao longo das décadas buscando aperfeiçoar-se para minorar o estigma de ineficiente e possuir qualidade dos produtos insatisfatória quando comparada com outros nichos de produção. A concorrência tem se agravado, as exigências dos clientes finais tem aumentado de nível e as reivindicações por melhores condições de trabalho por parte dos operários são constantes, o que exige melhor gerenciamento dos processos.

Nos últimos anos, empresários da construção civil têm adotado filosofias gerenciais no sentido de utilizar ferramentas e princípios da gestão da qualidade total ou *Total Quality Management* (TQM) com vistas ao aprimoramento e controle de seus processos produtivos e, basicamente, com o intuito de obtenção de certificação pelas normas ISO 9000 (ISATTO et al., 2000).

Este novo paradigma gerencial voltado para a gestão da produção na construção civil tem se desenvolvido e disseminado, por todo mundo através de estudos feitos por pesquisadores integrantes do *International Group for Lean Construction* (IGLC) a partir da década de 90, conforme Howell (1999), com marco referencial na publicação do trabalho *Application of new production philosophy in the construction industry* de Koskela (1992).

2.3.2 Modelo de processo baseado na transformação (conversão)

O modelo de produção tradicional é tido como o conjunto de atividades de conversão que geram a partir de insumos, materiais ou informações, produtos intermediários ou finais. Este

processo é composto por sub-processos, que também são atividades de conversão, conforme apresentado na figura 1.

A operação é considerada a menor parcela hierárquica do processo segundo Shingo (1996), onde geralmente é focada a redução de custos individuais para que o conjunto dos processos de conversão obtenha redução como um todo. No entanto, este modelo vislumbra a melhoria do valor do produto associado ao custo dos insumos envolvidos decorrendo assim, a necessidade de melhoria da qualidade dos materiais e/ ou maior qualificação na mão-de-obra (KOSKELA, 1992).

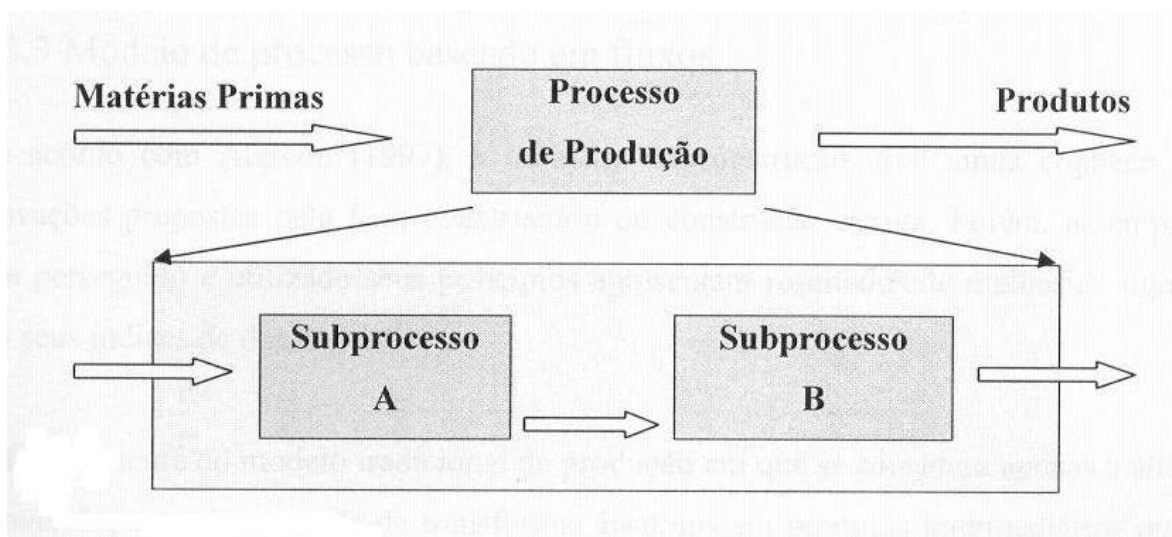


Figura 1 – Modelo de processo tradicional (KOSKELA, 1992)

Em geral, o processo de conversão considera apenas a seqüência das atividades que agregam valor ao produto, como sendo um fluxo de montagem, enquanto que, as atividades de fluxo necessárias ou não ao processo e que não agregam valor são desconsideradas, além do que, normalmente estas atividades de fluxo representam a maior parcela dos custos da produção (KOSKELA, 1992).

Outra característica negativa deste modelo, segundo o autor, é a desconsideração no atendimento aos requisitos do cliente final e cliente interno, podendo gerar produtos extremamente eficientes, porém totalmente inadequados, além da tendência de controle e esforço de melhorias ser concentrada nos sub-processos individuais de conversão colocando em prejuízo a eficiência do processo global, uma vez que desconsidera a melhoria nos fluxos (KOSKELA, 1992).

O modelo tradicional funciona bem quando o trabalho a ser realizado compreende apenas uma tarefa de conversão, o que não ocorre normalmente nos processos de produção da construção civil, onde a complexidade crescente de processos e produtos gera grande número de atividades de fluxo, passando estas a terem elevado grau de importância no aperfeiçoamento e otimização da produção, até por que a maior parte dos custos se concentram justamente nestas atividades de fluxo, como já mencionado. Além disto, tem ocorrido o aumento de importância de outras dimensões competitivas como prazo de entrega, flexibilidade, qualidade, entre outras, que também tornaram o modelo tradicional obsoleto.⁹

2.3.3 Modelo de processo baseado em fluxos

De acordo com Alarcón (1997), a indústria da construção civil ainda conhece pouco as inovações propostas pela *lean construction* ou construção enxuta. Porém, as empresas que têm perseguido e utilizado seus princípios apresentam resultados de melhorias significativas em seus índices de desempenho.

Diferentemente do modelo tradicional de produção em que se considera apenas a atividade de conversão, ou seja, a tarefa de transformar insumos em produtos intermediários ou finais, o modelo da produção enxuta abrange uma nova maneira de entender os processos, com outras considerações de ordem conceitual desprezadas por aquele.

Segundo Shingo (1996), os fluxos de produção contemplam duas formas de análise: as operações que apresentam pequenas unidades de análise e os processos que apresentam grandes unidades de análise, com definições como segue:

- a) **operação** implica no fluxo humano espacial e temporal baseado no trabalhador, através do desempenho distinto de uma tarefa realizada em diferentes produtos;
- b) **processo** refere-se ao fluxo de materiais no tempo e no espaço, abrangendo todos os estágios de movimentos da matéria-prima até se formar produto acabado.

⁹ Informações obtidas em apostilas de aula fornecidas pelo professor PhD. Carlos Torres Formoso em 2001.

O novo modelo de processo consiste em um fluxo de materiais ou informações desde o insumo até o produto acabado, compreendendo atividades de transporte, espera, conversão ou processamento e inspeção (KOSKELA,1992), ilustrado na figura 2, que são efetivadas por intermédio de uma série de operações (SHINGO, 1996).

Das quatro atividades consideradas por Koskela (1992), apenas a conversão agrega valor ao processo, desde que as especificações do produto final estejam atendidas. Caso contrário, o produto não agregará valor ao processo e será retrabalhado ou rejeitado. As três outras são consideradas atividades de fluxo por não agregarem valor, no entanto, são necessárias e inerentes ao processo.

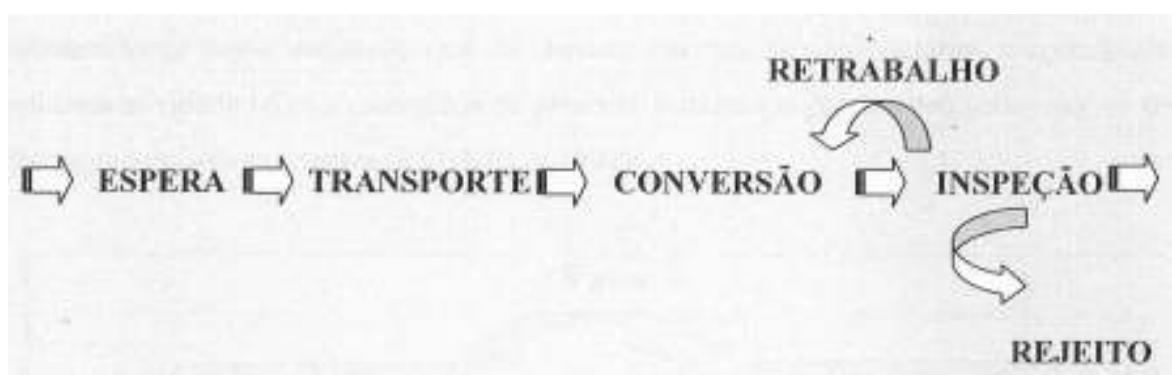


Figura 2 – Modelo de processo da construção enxuta (KOSKELA, 1992).

Estas atividades de fluxo como transporte, espera ou retrabalhos representam em torno de 2/3 do tempo gasto pelos operários em um canteiro de obras, segundo Isatto et al. (2000).

O modelo apresentado por Koskela (1992) aplica-se a fluxos de materiais como é o caso do processo produtivo, mas também a fluxos de informações em processos de natureza gerencial como planejamento, controle, suprimentos, entre outros.

O fluxo de materiais ou informações que são considerados processo, coexistem com um fluxo de trabalho também chamado de fluxo de pessoas ou máquinas considerados operações. Há casos em que algumas operações não estão inseridas nos fluxos de materiais ou informações, como limpeza ou manutenção de máquinas, assim como, alguns fluxos de materiais não

acontecem juntamente com algumas operações, como a estocagem ou espera (KOSKELA, 1992).

As diretrizes para melhoria neste modelo implicam em aumentar a eficiência de atividades de fluxo e conversão e, se possível, reduzir ou eliminar as atividades de fluxo. Toda melhoria deve ser implementada inicialmente nos processos e posteriormente nas operações (ISATTO et al., 2000).

2.3.4 Modelo de processo baseado no valor

O valor é um conceito muito difundido em teorias de gerenciamento e significa satisfazer os requisitos dos clientes externos e internos, sendo que, os clientes externos são os consumidores finais, enquanto que os clientes internos são os operários responsáveis pela próxima atividade no processamento do produto. Portanto, o processo só gera valor se atender aos requisitos destes clientes (KOSKELA,1992).



Figura 3 – Modelo de geração de valor (SANTOS, 1999).

O aumento do valor é alcançado mediante avaliação das necessidades do cliente com a conseqüente alteração de especificações dos serviços ou produtos baseados nas informações colhidas (SANTOS,1999).

Segundo Womack et al. (1992), a mudança gerencial baseada no valor se faz a partir de cinco princípios apresentados a seguir:

- a) **especificar precisamente o valor:** significa buscar a identificação exata dos requisitos do cliente final, atendendo às necessidades de valor e prazo ao disponibilizar um serviço, produto ou ambos;
- b) **identificar as cadeias de fluxos de valor para cada produto, subproduto ou serviço:** significa identificar as tarefas compreendidas na concepção do produto ou serviço, tanto no âmbito dos procedimentos de transmissão de informações, como na transformação dos insumos em produtos ou serviços terminados até a entrega ao cliente final. As cadeias de valor podem ser subdivididas em três categorias: as que nitidamente agregam valor ao produto ou serviço final, as que não agregam valor, porém são inevitáveis e necessárias ao processamento produtivo e as que não agregam valor e são passíveis de redução ou extinção, conforme o autor coloca;
- c) **fazer fluir o desempenho dos fluxos de valor sem interrupções:** este princípio implica em readequar a mentalidade da estrutura empresarial, que normalmente é segmentada em setores e departamentos estanques voltados para subdivisões das suas tarefas. Portanto, para os fluxos de valor fluírem é necessário conjugação de esforços de toda estrutura organizacional em torno desses, para então, buscar-se a minimização ou eliminação do que os obstrui;
- d) **deixar que o cliente acione o fluxo de valor da produção:** este princípio reflete, de acordo com os autores, a mudança estrutural da empresa em torno das cadeias de fluxos de valor, o que possibilita respostas mais rápidas às solicitações do cliente final, caracterizando a produção como sendo puxada pela demanda, o que evita a geração de estoques por superprodução;
- e) **perseguir a perfeição:** por fim, é um princípio que traduz a importância da busca de melhorias contínuas quanto à eficiência e eficácia no atendimento das necessidades do cliente final com o menor dispêndio possível, ou seja, requer a visão de inovar.

Com a aplicação destes conceitos baseados na *Lean Construction* a cultura gerencial denominada de pensamento enxuto promove a melhoria da eficiência e eficácia na cadeia produtiva das empresas (BERNARDES, 2001).

Por outro lado, Koskela (2000) sugere também cinco princípios, porém de conotação diferente em relação aos de Womack et.al.(1992), conforme segue:

- a) **captura dos requisitos** implica em que todos os requisitos explícitos e implícitos sejam capturados sem exceção;
- b) **fluxo de requisitos** representa a identificação dos requisitos ao longo de toda fase do processo produtivo sem que estes sejam perdidos quando convertidos em soluções de projeto ou produção;

- c) **abrangência dos requisitos** mostra que todos os requisitos de todos os clientes devam ser atendidos plenamente;
- d) **garantir a capacidade do sistema de produção** implica em que este tenha capacidade de produzir o que foi requisitado pelo cliente;
- e) **medir o valor** significa garantir através de medições ou pesquisas que o valor desejado tenha sido alcançado.

2.3.5 Princípios associados da Gestão de Processos

De acordo com Koskela (1992), os conceitos estabelecidos por seu trabalho são balizados por princípios básicos oriundos de nove tipos de métodos voltados para a produção, ou seja: o *total quality management* (TQM); o just in time (JIT); o *total product maintenance* (TPM); a engenharia simultânea; a competição baseada no tempo; o gerenciamento baseado no valor; o gerenciamento visual e o envolvimento dos funcionários; e a reengenharia, que redesenha processos.

Koskela (1992) propôs a eleição de onze princípios que foram adaptados e sintetizados por ele, conforme segue:

- a) reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
- b) aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes;
- c) reduzir a variabilidade;
- d) reduzir o tempo de ciclo;
- e) simplificar através da redução do número de passos ou partes;
- f) aumentar a flexibilidade de saída;
- g) aumentar a transparência do processo;
- h) focalizar o controle no processo completo;
- i) introduzir melhoria contínua no processo;
- j) manter equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões;
- k) praticar *Benchmarking*.

A seguir se discute as definições e aplicações de cada princípio elaborado por Koskela (1992).

2.3.5.1 Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor

Este é o princípio mais geral da nova filosofia da produção e busca reduzir as atividades que não adicionam valor no atendimento aos requisitos dos clientes, porém consomem recursos, espaço e tempo (KOSKELA, 1992). O princípio persegue a melhoria da eficiência das atividades de conversão e das atividades de fluxo, além de reduzir as perdas poderá eliminar algumas atividades de fluxo desnecessárias.

Existem atividades de fluxo importantes para a eficiência global dos processos, como treinamento, controle dimensional e instalação de dispositivos de segurança. A aplicação do princípio se faz através da montagem de um diagrama de fluxos explicitando as atividades que não agregam valor, no intuito de reduzi-las ou eliminá-las (ISATTO et al., 2000).

Um exemplo disto é a redução de movimentação a partir da elaboração de um arranjo físico do canteiro de obras de maneira a minimizar as distâncias entre a descarga dos materiais e o local de seu emprego (SANTOS, 1999). Outra forma de identificar possíveis interferências no processo é mapear em planta baixa os deslocamentos de materiais e equipes de trabalho, levando em consideração a integração delas com os ritmos de produção previstos (BERNARDES, 2001).

2.3.5.2 Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes

Este princípio evidencia o conceito de processo como gerador de valor, onde se agrega valor quando os requisitos são identificados e atendidos no momento adequado, tanto para os clientes internos que exercerão atividades subseqüentes, como para os clientes externos ou finais na utilização do produto (KOSKELA, 1992).

A aplicação do princípio se faz através do mapeamento dos requisitos dos clientes sistematizados em cada etapa do processo. Para atender os requisitos dos clientes externos ou clientes finais pode-se recorrer a pesquisas de mercado com clientes potenciais ou a pesquisas de avaliação pós-ocupação. Já os requisitos de clientes internos devem ser identificados e

comunicados à equipe que fará um determinado trabalho, no tocante a ajustes, tolerâncias e acabamentos que precedem as equipes posteriores, para uma perfeita interação das etapas (ISATTO et al., 2000).

2.3.5.3 Reduzir a variabilidade

Este princípio busca eliminar a variabilidade através da padronização dos processos, que podem estar relacionados com a qualidade do produto, com os recursos consumidos ou com a duração das atividades. Quanto à qualidade, o produto uniforme é o melhor visto pelo cliente final (KOSKELA, 1992).

O processo de produção poderá apresentar variabilidades anteriores relativas aos fornecedores, ao próprio processo de produção e relativa à demanda, através das necessidades e desejos dos clientes. Como exemplo de variabilidade anterior ao processo temos a variação dimensional dos materiais fornecidos, segundo Isatto et al. (2000).

A variabilidade aumenta as atividades que não agregam valor com conseqüente aumento de tempo necessário para suas conclusões. Isto ocorre pela quebra de fluxos de trabalho através da interferência entre equipes não afinadas, gerando atividades de fluxo como espera e deslocamentos (transporte) nos fluxos de operações, além de poder gerar produtos fora de especificação, decorrendo a possível insatisfação do cliente e o possível retrabalho ou rejeição (ISATTO et al., 2000).

A aplicação do princípio implica em adotar ferramentas e técnicas de análise da produção que requeiram planejamento e controle das atividades. Para este caso, o diagrama de precedências adaptado por San Martin (1999), o *Last Planner*¹⁰ de Ballard (2000), ou o *shielding production* de Ballard e Howell (1997) podem ser utilizados para prever as causas dos problemas.

¹⁰ O *last planner* apresenta-se como um mecanismo para transformar o que deve ser feito em o que pode ser feito formulado por Glenn Ballard, 2000.

2.3.5.4 Reduzir o tempo de ciclo

Um dos princípios mais importantes da produção enxuta é a redução do tempo de ciclo, que significa o período temporal necessário para transformar um insumo em produto considerando as etapas de transporte, espera, conversão e inspeção somadas (KOSKELA, 1992).

Este princípio estabelece a compressão do tempo disponível reduzindo as atividades de fluxo que não agregam valor, possibilitando entregas mais rápidas com a redução do tamanho do lote de trabalho. A redução do tempo de ciclo facilita o controle da produção por possibilitar menos frentes de trabalho em andamento com a redução do volume dos produtos inacabados (*work-in-process*), além de aumentar o efeito aprendizagem por diminuir a sobreposição de operações e tornar o sistema de produção mais flexível e menos vulnerável a mudanças ou inovações requeridas pela demanda (ISATTO et al., 2000).

Adota-se, para tanto, a otimização do *lay-out* com redução de distâncias e alteração dos fluxos de atividades de seqüenciais para paralelas. Busca-se também o sincronismo dos fluxos de mão-de-obra e materiais com programações padronizadas e repetitivas com o objetivo de reduzir as atividades que não agregam valor e a conseqüente redução do tempo de ciclo. O sincronismo pode ser obtido quando se reduz o tamanho do lote de trabalho, possibilitando maior fluidez dos materiais e informações nos diversos estágios do processo e abreviando a conclusão da etapa (SANTOS, 1999).

2.3.5.5 Simplificar através da redução do número de passos ou partes;

Significa diminuir o número de etapas existentes em um fluxo de informações ou materiais ou reduzir o número de componentes de um determinado produto. Com esta simplificação se reduzem também as atividades que não adicionam valor ao processo, na medida que diminui atividades de fluxo, como tarefas auxiliares de montagem, inspeção, limpeza e deslocamentos (KOSKELA, 1992)

O princípio reduz a interferência e interdependência entre atividades, implementa a racionalização no processo de montagem com a busca da utilização de pré-fabricados, os

quais eliminam algumas etapas dentro do canteiro de obras, além de possibilitar a adoção de equipes polivalentes e otimizar passos no fluxo de informações e materiais (BERNARDES, 2001).

2.3.5.6 Aumentar a flexibilidade de saída;

Este princípio rege a possibilidade de o produto sofrer mudanças durante o processo, solicitadas pelo cliente final sem onerar substancialmente seus custos de produção. A flexibilidade requerida poderá se dar em relação a mudanças de operação no produto em si, na forma de como a operação é feita ou na quantidade a ser feita. A aplicação do princípio implica em reduzir o tamanho dos lotes de trabalho para diminuir o tempo de preparação numa possível troca de equipamento ou ferramentas, possibilitando assim ajustes com menos impactos nos custos do processo de produção (KOSKELA, 1992).

Busca-se formular processos que estabeleçam customização do produto o mais tarde possível, além de treinar equipes polivalentes capazes de se adaptar a mudanças mantendo a performance produtiva e sendo suficientemente flexível para minorar os efeitos das incertezas, coloca o autor.

2.3.5.7 Aumentar a transparência do processo;

Segundo Koskela (1992), este princípio possibilita diminuir os erros freqüentes no processo produtivo através da visualização por todos intervenientes do que está acontecendo na obra. Para implementar a transparência nos processos cria-se um *lay-out* no canteiro de obras com o mínimo de anteparos visuais possível e o máximo de informações, afixadas em placas ou painéis contendo informações sobre os processos, equipamentos, áreas de perigo, indicadores de produtividade, etc. que devem ser espalhados pela área de produção em cada local específico de uma atividade ou necessidade a ser conhecida por todos.

Uma forma de transparência dos processos é estabelecer reuniões para discussão com as equipes de trabalho a respeito das tarefas a serem desenvolvidas, com o intuito de obter maior envolvimento, discernimento, entusiasmo e produtividade por parte da mão-de-obra

(BERNARDES, 2001). O programa 5 S pode ser utilizado como ferramenta auxiliar na busca de melhorias neste sentido.

2.3.5.8 Focaliza o controle no processo completo;

O princípio busca não segmentar o controle por partes de um todo, onde cada nível gerencial exerce melhoria em sua parcela sem considerar o processo completo, o que causa perdas na produção (KOSKELA, 1992).

Neste sentido, conforme Isatto et al. (2000), o controle deve ser exercido por um responsável que tenha visão sistêmica enfocada no processo produtivo global, envolvendo os fornecedores intervenientes no processo na busca de melhorias.

Por outro lado, Shingo (1998) cita que inicialmente devem ser implementadas melhorias no processo global, ou seja, fluxos de materiais, montagem e informações, posteriormente, buscar melhorias nas operações, como tarefas feitas por máquinas e pessoas.

2.3.5.9 Introduzir melhoria contínua no processo;

A base deste princípio aponta para o esforço permanente da empresa em aumentar o valor do produto e reduzir as perdas no processo produtivo. A continuidade de melhorias no processo é auxiliada na medida em que outros princípios vão sendo empregados (Koskela,1992).

Já o monitoramento e controle do processo, segundo Isatto et al. (2000), pode ser feito pela adoção de ferramentas da qualidade, como lista de verificação, fluxogramas, entre outros. A gestão participativa e o trabalho em equipe são fundamentais para a introdução de melhoria contínua e podem ser auxiliadas por medidas como indicadores de desempenho, estabelecimento de prioridades, padronização de procedimentos e implementação de ações corretivas.

2.3.5.10 Manter equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões;

Este princípio estabelece a necessidade de equilibrar as adaptações nos fluxos, os quais causam mais impactos em processos produtivos mais complexos, assim como nas conversões baseadas em introdução de novas tecnologias. Conforme explicitado por Koskela (1992), o processo que apresentar grandes perdas associadas à produção ganhará mais em adaptar fluxos do que alterar conversões, além de que, a melhoria a ser implantada no processo através de troca de tecnologia ocorrerá mais facilmente a partir de melhorias feitas nos fluxos anteriormente, o que os tornam mais controláveis.

Por outro lado, as melhorias de fluxos e de conversão estão interligadas, uma vez que, fluxos enxutos requerem baixa capacidade de conversão e conseqüente baixa capacidade de investimento em equipamentos (ISATTO et al., 2000).

2.3.5.11 Praticar *Benchmarking*

Aplicar o princípio de *Benchmarking* significa estar atento e aprender com as boas práticas adotadas por outras empresas e setores que sejam referenciais de excelência no que fazem. Porém Koskela (1992) esclarece que este princípio é freqüentemente confundido com a necessidade de inovação tecnológica e que se contrapõe ao princípio de melhoria contínua dos processos.

Sua utilização requer o emprego de um processo estruturado de levantamento das características dos processos internos, identificando as boas práticas de outras empresas líderes no mesmo segmento, compreendendo os princípios envolvidos nestas práticas e adaptando-as para sua realidade produtiva. (ISATTO et al., 2000).

2.3.6 A teoria Transformação-Fluxo-Valor (TFV)

Koskela (2000) propôs as diretrizes de integração e balanço, enquanto que mais tarde Bertelsen e Koskela (2002) inseriram as diretrizes de sinergia e contingência para os três conceitos da produção, com análise simultânea de suas visões no intuito de ampliar a prática

de modelar, desenhar, controlar e otimizar a produção como um todo. A seguir se descreve quatro diretrizes consideradas.

A diretriz de integração implica em que as três visões são aspectos de um mesmo fenômeno que devem ser reconhecidos em todas situações e níveis gerenciais. Já a diretriz de balanço entra quando existem princípios contraditórios que devam ter decisões balanceadas. A diretriz de sinergia entre os princípios deve ser alimentada nas decisões. Por fim, a diretriz de contingência mostra que qualquer princípio ou visão pode ser fundamental para o sucesso em determinada situação, e que outros aspectos não necessitam serem tão aprofundados (BERTELSEN e KOSKELA, 2002).

Nas figuras 4 e 5 apresenta-se a integração dos princípios gerais e dos princípios associados aos conceitos de transformação, fluxo e valor.

Princípios gerais	Princípios associados
Visão de transformação: adicionar valor realizando tarefas eficientemente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Decompor a produção em tarefas 2. Minimizar o custo de todas as tarefas decompostas
Visão de fluxo: reduzir parcela de atividades que não adicionam valor	<ol style="list-style-type: none"> 3. Reduzir o tempo de ciclo (<i>lead time</i>) 4. Reduzir a variabilidade 5. Simplificação 6. Aumentar a transparência 7. Aumentar a flexibilidade
Visão de valor: aumentar o valor ao cliente	<ol style="list-style-type: none"> 8. Garantir que todos os requisitos do cliente foram atendidos 9. Garantir o <i>flow-down</i> dos requisitos do cliente 10. Garantir que todos os requisitos do cliente sejam entregues ao cliente 11. Garantir a capacidade do sistema de produção 12. Medir o valor

Figura 4 - Integração dos princípios da produção
(KOSKELA, 2000 apud SOARES, 2003)

	Visão de transformação	Visão de fluxo	Visão de valor
Conceito de produção	A transformação de entradas em saídas	O fluxo de material é composto por transformação, inspeção, movimento e espera	O processo onde o valor do cliente é produzido através da execução de seus requisitos
Princípios gerais	Tornando a produção realizada eficientemente	Eliminando as perdas (atividades que não agregam valor)	Eliminando a perda de valor
Exemplos de métodos e práticas	WBS, ¹¹ MRP, ¹² gráfico de responsabilidade organizacional	Fluxo contínuo, contr. da produção puxado e crescimento contínuo	Métodos de captura dos requisitos
Contribuição prática	Tornando o centro do que pode ser feito	Tornando o centro a redução das tarefas que não são necessárias	Tornando o centro a melhor maneira de capturar os requisitos do cliente
Nome para a aplicação/visão	Gerenciamento da tarefa	Gerenciamento do fluxo	Gerenciamento do valor

Figura 5 - Integração da visão TFV na produção (KOSKELA, 2000 apud SOARES, 2003)

2.3.7 Métodos e ferramentas de avaliação

Neste item será abordado o método proposto por San Martin (1999) como exemplo, o qual possui o objetivo de verificar e analisar através de indicadores qualitativos e quantitativos de desempenho, a performance da gestão de processos de produção direcionados para edificações de baixo custo.

Este método se compõe de uma reunião de indicadores de desempenho, selecionados para possibilitar o processamento e análise de informações levantadas, através de ferramentas de coleta específicas para a gestão de processos de produção de tecnologias construtivas.

A avaliação de desempenho aborda características de qualidade eleitas previamente, assim como na facilidade de coleta e processamento das informações pertinentes à tecnologia em estudo. Quanto às possibilidades de processamento de informações, o método proposto utiliza

¹¹ *Work Breakdown Structure* (WBS) implica em utilizar uma estrutura de decomposição das partes da obra por hierarquias (ASSUMPCÃO, 1996 apud SOARES, 2003).

como recurso um diagrama de procedências adaptado para inclusão dos fluxos. Quanto à coleta de informações adotam-se planilhas de coleta de dados, entrevistas, listas de verificação e registro de imagens.

Os requisitos em geral são atendidos pelos indicadores propostos. No entanto, em situações específicas, pode ocorrer de não se conseguir fazer uma verificação sistêmica de algum requisito por falta de um indicador apropriado. Neste caso, pode-se interpretar resultados em conjunto, porque o método limita-se a avaliar apenas processos intrínsecos e constantes da tecnologia de edificação (SAN MARTIN, 1999). O referido método propõe dez indicadores de desempenho apresentados na figura 6.

INDICADORES DE DESEMPENHO
<ol style="list-style-type: none"> 1. Indicador da eficiência do desenho dos processos; 2. Indicador de flexibilidade de robustez; 3. Grau de interdependência de processos; 4. Grau de habilidade exigido da mão-de-obra; 5. Grau de dependência por materiais específicos; 6. Indicador de variedade de materiais; 7. Grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos; 8. Grau de padronização de operações; 9. Grau de separação física de processos; 10. Peso dos elementos construtivos.

Figura 6 - Indicadores de desempenho segundo San Martin (1999)

As principais contribuições do método são: a identificação de necessidades de desempenho em gestão de processos de tecnologias de edificação, propostas das definições de diferentes conceitos relativos à construção enxuta e o desenvolvimento de indicadores de desempenho para avaliação de tecnologias.

¹² *Material requirements planning* (MRP) desenvolvido pela IBM consiste em um sistema de gerenciamento de estoques (HOPP; SPEARMAN, 1996 apud SOARES, 2003).

Característica da Qualidade Considerada	Requisitos de performance dos processos
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; Tornar processos mais independentes uns dos outros; Reduzir o número de etapas em obra; Separar processos em unidades de produção focalizadas
Aumento de transparência	
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.

Figura 7 - Os requisitos de desempenho em gestão de processos
(SAN MARTIN, 1999, p.92)

2.3.7.1 Grau de habilidade exigido da mão de obra

Esse indicador é determinado de forma qualitativa por intermédio de classificação das operações dos fluxos de operários, que estão envolvidos pelos processos intrínsecos e constantes da produção. O grau de habilidade é baseado na classificação de Rosso (1980

apud SAN MARTIN, 1999) e estipula a complexidade das funções dos operários em cinco níveis crescentes, listadas a seguir:

- a) transporte: nível mais simples de habilidade, uso da força física e motora sem refinamento;
- b) locação: envolve noções espaciais de localização com eventuais verificações através de ferramental;
- c) conformação: exige noções de locação e habilidades motoras mais refinadas;
- d) ajuste: compreende noções de locação, conformação e da compreensão global das funções da tarefa;
- e) acabamento: nível mais apurado de habilidades, engloba a capacidade de ajuste, o conhecimento das propriedades dos materiais e o domínio da técnica a ser empregada.

O uso desse indicador requer registros e análises de fotografias e filmagens com o objetivo de quantificar separadamente cada operação de fluxo executada em cada nível da habilidade descrita anteriormente. O resultado desse indicador é obtido através do somatório dos cinco níveis de complexidade de operações mencionado, com análise qualitativa do resultado.

Esse indicador é utilizado para verificar a satisfação do requisito de possibilitar um nível mais baixo e homogêneo de habilidade exigida pelas operações intrínsecas. Portanto, quanto mais baixo e homogêneo o nível de habilidades dos operários, mais facilmente se pode treinar equipes polivalentes, com processos de treinamento mais curtos e viabilizando re-locações de operários, o que facilita a gestão de processos.

2.3.7.2 Peso dos elementos construtivos

O indicador do peso dos elementos construtivos se relaciona com as condições ergonômicas de trabalho e busca atingir diretamente o requisito de utilizar elementos mais leves. Para isso, o indicador propõe a estimativa do peso dos elementos construtivos a serem adotados no ciclo básico de produção avaliando os resultados de forma qualitativa. Quanto maior for o resultado total dos somatórios, pior será a satisfação do requisito. Deve-se levar em consideração a possibilidade de equipamentos de transporte presentes no canteiro de obras facilitarem

satisfação deste requisito. No entanto, o fator segurança permanece prejudicado com peças mais pesadas compondo o sistema construtivo adotado (SAN MARTIN, 1999).

2.3.7.3 Indicador de variedade de materiais

Esse indicador é quantitativo e está relacionado diretamente com o requisito de utilizar menor número de materiais diferentes e relaciona-se indiretamente com o requisito de possibilitar o fornecimento freqüente de recursos por um número menor de fornecedores e o requisito de empregar elementos com maior valor agregado (SAN MARTIN, 1999).

A medição é feita a partir da análise da listagem dos diferentes insumos materiais necessários à tecnologia utilizada e com o mapeamento do diagrama adaptado de precedências. Com a listagem feita passa a se quantificar o número total de diferentes insumos materiais e, também, o número total de atividades dos processos pertencentes ao ciclo básico de produção.

2.3.7.4 Grau de dependência por materiais específicos

O indicador que mede o grau de dependência por materiais específicos busca avaliar a capacidade da tecnologia construtiva de se adaptar a diferentes localidades, prescindindo de materiais e fornecedores específicos. Os insumos materiais identificados deverão ser considerados insubstituíveis dentro da tecnologia adotada e utilizados em atividades críticas do ciclo básico de produção. Essas atividades críticas são aquelas que possuem um determinado grau de dependência com as demais a ponto de comprometer os fluxos subsequentes, causando atraso geral e conseqüente aumento do tempo de ciclo (SAN MARTIN, 1999).

A medição é determinada de forma qualitativa baseada na identificação dos insumos materiais fundamentais para o desenvolvimento dos fluxos de processos mapeados e suas relevâncias financeiras na composição de custos. O resultado do levantamento é composto de uma listagem dos insumos específicos, onde a maior extensão revela uma tecnologia mais dependente de materiais específicos, com conseqüente maior dificuldade de adaptação a outras regiões, gerando conseqüências financeiras para a gestão de processos.

Esses materiais são inerentes à tecnologia em questão e isto gera uma dependência da tecnologia pela regularidade de vinculação a fornecedores de uma região determinada. São tratados como insumos críticos da tecnologia adotada.

Após identificar os insumos financeiramente relevantes, levantam-se os insumos materiais insubstituíveis por restrições técnicas aplicados na tecnologia. A seguir, verifica-se se esses insumos são adotados em atividades críticas mapeadas no ciclo básico de produção através do diagrama adaptado.

2.3.7.5 Grau de padronização e agregação de valor de elementos construtivos

O indicador implica em uma avaliação qualitativa dos níveis crescentes de uniformidade dos elementos construtivos da tecnologia e da aglutinação das etapas de produção geradas por estes. O grau de padronização e agregação de valor da tecnologia será maior quando a tecnologia apresentar maior número de elementos classificados em nível mais alto de uniformidade e aglutinação de etapas, fornecendo desta forma a possibilidade de avaliação conjunta e simplificada dessas características com uma única análise geral dos elementos construtivos (SAN MARTIN, 1999).

Esse indicador exige uma comparação relativa com tecnologias de edificação tradicionais descritas em cadernos de encargos como o do Departamento de Edifícios Obras Públicas do Governo do Estado de São Paulo ou do Banco do Brasil. Ainda requer a consideração dos conceitos clássicos estabelecidos para: serviço, atividade, operação e processo.

Adotaram-se três níveis diferentes de classificação dos elementos construtivos pertencentes às tecnologias a serem avaliadas, relativamente ao grau de aglutinação de etapas de uniformidade destes:

- a) nível 1: elementos construtivos que não aglutinam etapas comparativamente a tecnologias tradicionais e que não necessitam obrigatoriamente serem uniformes, exemplo: elementos estruturais de diferentes dimensões, como blocos cerâmicos, vigas pilares, lajes, entre outros;
- b) nível 2: elementos construtivos que aglutinam mais de uma etapa comparativamente a tecnologias tradicionais, mas que não são uniformes, por exemplo: elementos estruturais pré-moldados de diferentes dimensões, kits

hidrossanitários e elétricos de tamanhos variados e argamassas pré-misturadas de diversos tipos;

- c) nível 3: elementos construtivos que aglutinam mais de uma etapa comparativamente a tecnologias tradicionais e que possuem dimensões uniformes, exemplo: elementos estruturais pré-moldados de dimensões padrão, painéis pré-moldados e de revestimentos de tamanho único ou esquadrias prontas com dimensões constantes.

2.3.7.6 Indicador de Eficiência do Desenho dos Processos

Indicador referenciado pela análise do mapeamento dos processos através do diagrama de precedências adaptado por San Martin, o mesmo relaciona a quantidade das diferentes atividades intrínsecas e constantes dos diversos níveis de produção mapeados com o número total destes (SAN MARTIN, 1999).

O diagrama de precedências ilustra o que precede cada serviço e atividade a ser desenvolvida, revela o grau de interdependência entre linhas de produção simultâneas e entre atividades e níveis de produção. A quantidade de atividades colocadas em um mesmo nível de produção representa a possibilidade numérica de estabelecer fluxos de produção concomitantes. O indicador estabelece a relação numérica da média das possibilidades para os níveis do ciclo básico de produção.

Desta forma pode-se obter configurações curtas e largas com pequenas cadeias de precedência e muitos fluxos concomitantes, assim como, configurações longas e estreitas determinadas por grandes cadeias de precedência e fluxos simultâneos reduzidos.

Segundo San Martin (1999), quanto mais curto e largo o desenho dos processos maior quantidade de fluxos simultâneos do que dependentes, aumentando-se a possibilidade de obter-se uma gestão de processos mais eficiente. O mesmo ocorre com o resultado inverso, onde fica uma configuração longa e estreita, com grandes cadeias de precedência e pouca quantidade de fluxos simultâneos, resultando em provável baixa eficiência na gestão dos processos intrínsecos e constantes.

2.3.7.7 Grau de padronização de operações

O grau de padronização de operações é obtido a partir da análise das atividades dos operários. As atividades a serem consideradas são aquelas relacionadas diretamente com os processos mapeados pelo diagrama adaptado de precedências, compostas pelas operações que acompanham os processos intrínsecos e constantes da tecnologia avaliada (SAN MARTIN, 1999).

Para a análise desse indicador deve-se levantar o número total das operações que são realizadas mais de uma vez e relacioná-lo à quantidade total de operações exigidas no ciclo básico de produção.

2.3.7.8 Grau de interdependência de processos

O indicador apresenta a relação direta entre o número total de dependências estabelecidas pela tecnologia e o número total de atividades dos fluxos de processos. Esse indicador baseia-se no diagrama adaptado de precedências através de mapeamento do ciclo básico de produção. As atividades de dependências são representadas por setas, enquanto que as atividades dos fluxos são representadas por círculos ou retângulos (SAN MARTIN, 1999).

A equação matemática proposta pelo método estabelece a divisão do número total de dependências dos processos pelo número total de atividades de todos os fluxos mapeados no ciclo básico de produção.

A relação estabelecida pelo indicador considera apenas a análise das dependências internas do sistema de produção sob a ótica dos processos intrínsecos da tecnologia, limitando-se a avaliar somente a interdependência de processos;

2.3.7.9 Grau de separação física de processos

O indicador de grau de separação física de processos propõe uma relação entre a quantidade de atividades que podem ser desenvolvidas fora ou distante do local final de montagem do elemento ou sub-elemento, elaborado para cada um dos fluxos de processos e a quantidade total de atividades de fluxos e conversão dos processos mapeados do ciclo básico de produção (SAN MARTIN, 1999).

O indicador do grau de separação física de processos é utilizado para atender ao requisito de separar processos em unidades de produção focalizadas resultando no aumento da transparência e da simplificação, aplicado juntamente com o indicador de eficiência do desenho dos processos. O atendimento desse requisito é satisfeito quando o resultado está próximo a um.

2.3.7.10 Indicador de flexibilidade de robustez

Caracteriza-se por também ser quantitativo e medido através do mapeamento feito com o auxílio do diagrama adaptado de precedências elaborado por San Martin (1999). Sua medição se dá através da quantidade de vezes possíveis que as atividades mapeadas podem se alternar entre os níveis de produção, sem alterar o número total destes, ao longo dos fluxos mapeados (SAN MARTIN, 1999).

Salienta-se ainda que, as possibilidades de alternâncias não deverão alterar as relações de precedência para que as dependências entre atividades sejam preservadas.

Este indicador tem o objetivo de revelar a capacidade dos fluxos de processos de aceitar mudanças na seqüência das atividades, respeitando as dependências mapeadas e sem prejuízo do número de etapas de produção, para que o tempo total de ciclo permaneça inalterado quando ocorrer situações de atraso ao longo do processo.

Segundo San Martin (1999), as técnicas e ferramentas empregadas para simulação, mapeamento e análise dos processos para o desenvolvimento de seu método foram o diagrama

de processos ou operações, o fluxograma, o diagrama de precedências, e as análises V-A-T, descritos nos parágrafos seguintes.

O diagrama de processos ou operações é bastante indicado para o mapeamento de atividades específicas, quando se necessita analisar uma parcela de fluxos produtivos abrangentes ou concentra-se em fluxos produtivos pequenos. Sua adoção requer o emprego de atividades de conversão, espera, inspeção e transporte para fluxos de pessoas, materiais, máquinas ou informações, conforme apresentado na figura 8 por Krajewski e Ritzman (1992).

Serviço: confecção de um sorvete de uma bola. Objeto alvo: servidor no balcão. Começo: ida ao estoque de casquinhas. Final: alcance do sorvete ao cliente consumidor.				Atividade	Símbolo	Nº de ativid.	Tempo (min.)	Distância (pés)	
				Conv.	?	6	1,70	–	
				Transp.	⇨	6	0,80	76	
				Inspeç.	?	1	0,25	–	
				Espera	?	1	0,50	–	
				Estocag.	?	0	–	–	
Atividade Nº	Tempo (min.)	Dist. (pés)	?	⇨	?	?	?	?	Descrição da atividade
1	0,20	5		X					Ir até as casquinhas
2	0,05		X						Pegar uma casquinha vazia
3	0,10	5		X					Ir ao balcão
4	0,05		X						Colocar a casq. no servidor
5	0,20	8		X					Ir até a área da pia
6	0,50					X			Pedir para lavar a colher
7	0,15	8		X					Ir ao balcão c/ colher lavada
8	0,05		X						Pegar a casq. do servidor
9	0,10	2,5		X					Ir até o sabor solicitado
10	0,75		X						Pegar o sorvete do pote
11	0,75		X						Colocar o sorvete na casq.
12	0,25					X			Checar a estabilidade
13	0,05	2,5		X					Ir ao balcão
14	0,05		X						Alcançar sorvete ao cliente

Figura 8 - Diagrama de operações
(KRAJEWSKI E RITZMAN, 1992)

O fluxograma é uma das ferramentas de análise de processos mais usadas e propõe o mapeamento e análise de interfaces e dependências dos fluxos de processos, com notação gráfica apresentada a seguir representando a seqüência do processo em si, identificando etapas através de símbolos e tornando mais fácil a interpretação de todo o processo.

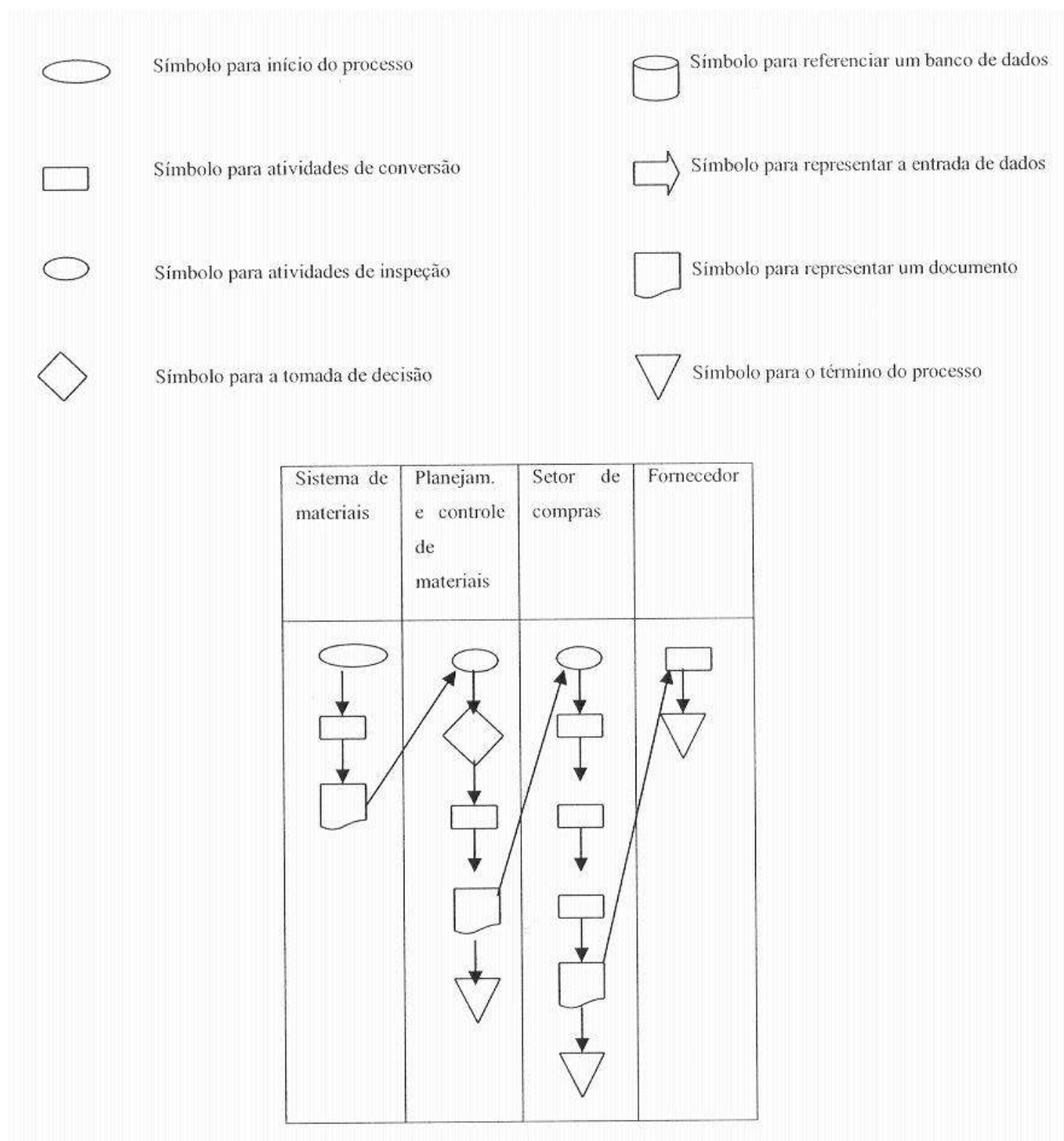


Figura 9 - Fluxograma com ênfase no aspecto funcional (MARTINS; LAUGENI, 1998 apud SAN MARTIN, 1999).

O fluxograma apresentado na figura 9 ilustra a precedência entre atividades classificadas com a melhor conveniência de aplicação. No entanto, a aplicação com processos e operações necessita de aplicação específica para fluxos de pessoas, materiais, máquinas ou informações. Para o caso de fluxos de materiais recomenda-se o modelo apresentado por Shingo (1996), considerando as atividades como conversão, transporte, inspeção e espera.

O diagrama de precedências ilustra o que precede os serviços e atividades a serem desenvolvidos, revela o grau de interdependência entre linhas de produção simultâneas e entre atividades e níveis de produção. Via de regra, os diagramas de precedências contém uma tabela explicativa anexa com todas atividades mapeadas descritas, seu tempo de execução e atividades precedentes (KRAJEWSKI; RITZMAN, 1992). A figura 10 apresenta o diagrama de precedência adaptado por San Martin (1999), onde fica mapeado o momento e a ordem das atividades para cada etapa de produção.

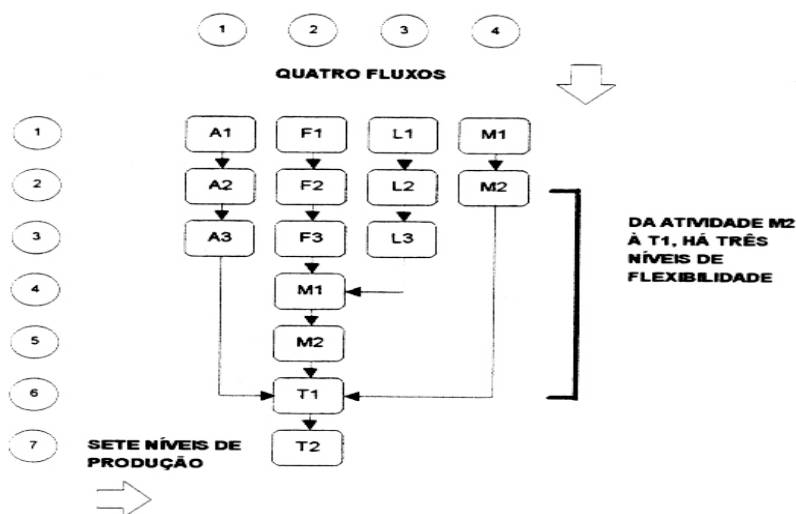


Figura 10 - Diagrama de precedência (SAN MARTIN, 1999).

Através do diagrama se percebe a possibilidade de desenvolver atividades simultaneamente, o que facilita análises mais globais de tecnologias de produção (KRAJEWSKI; RITZMAN, 1992).

As análises V-A-T compreendem uma ferramenta de análise de fluxos vinculada aos produtos e suas cadeias de montagem, considerando a interação entre produtos e sub-produtos, por meio da fluência dos materiais e produtos através de suas configurações estruturais, denominadas de diagramas de fluxo de produtos. Estes diagramas permitem identificar cada

etapa de produção de todos produtos envolvidos no processo, incluindo o recurso necessário, a operação realizada e a quantidade delas (KRAJEWSKI; RITZMAN, 1992). A figura 11 retrata como se estruturam os diagramas de fluxo que possuem a forma das letras V-A-T.

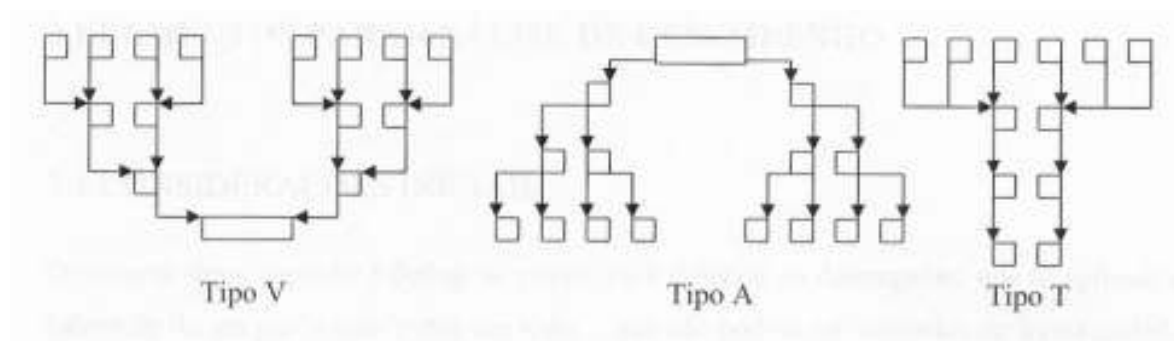


Figura 11 - Estruturas genéricas de diagramas V-A-T do fluxo de produtos (UMBLE, 1992 apud SAN MARTIN, 1999)

Segundo UMBLE (1992 apud SAN MARTIN, 1999, p.66) a estrutura mais adequada para a análise de sistemas produtivos complexos, que envolvem o processamento de diversos materiais para confeccionar produtos e sub-produtos intermediários, a fim de conjugar um único produto final é o diagrama V, muito embora, a utilização conjunta das três estruturas traga mais precisão ao resultado.

3 ELEMENTOS PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O objetivo deste capítulo é definir os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam à habitação de um pavimento como um todo, e que não podem ser avaliados de forma isolada para um ou mais elementos específicos. Salienta-se que, as exigências aqui tratadas interagem e são complementares aos requisitos e critérios.

Não é objetivo do trabalho analisar profundamente o desempenho de materiais pertencentes a um sistema construtivo qualquer. No entanto, cabe descrever quais considerações devem ser observadas e analisadas para efeitos de uma compreensão sistêmica da tecnologia. Neste sentido, o desenrolar deste capítulo abordará o conceito de desempenho, as exigências dos usuários, as condições de exposição da edificação, os requisitos de desempenho estabelecidos, os critérios adotados e alguns métodos existentes para avaliação de desempenho de materiais. Para tanto, o presente estudo abordou definições e conceitos desenvolvidos pelo CIB/W60, por normas ISO, pelo IPT/SP e ABNT/CB-02, conforme exposto nos itens a seguir.

3.2 O CONCEITO DE DESEMPENHO

O conceito de desempenho voltado para o sub-setor construção civil tem sido desenvolvido a partir do final da década de 1970 através de seminários desenvolvidos pelo CIB- *International Council for Building Research Studies and Documentation*, tendo sido consolidado com a publicação em 1982 do *CIB Report Publication 64*. Complementarmente, a *International Organization for standardization* com a elaboração das normas ISO DIS 7162 (1984) e ISO DIS 7164 (1985), estabeleceu um conjunto de procedimentos baseados na aplicação do conceito de desempenho voltados para a construção habitacional.

Segundo Blachère (1993), o uso de componentes industrializados necessita de regras estabelecidas para servir de interface entre os fabricantes e os compradores potenciais de seus produtos. Em qualquer caso, é necessário saber o desempenho medido dos componentes acompanhados dos métodos de aferição estipulados.

A avaliação de desempenho de habitações implica em prever o comportamento potencial do sistema construtivo adotado ao longo de sua vida útil, visando atender exigências dos usuários e condições de uso a que se destina, conforme o IPT (1998).

As normas de desempenho formam um conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um determinado produto, não importando sua forma ou os materiais que o constituem, baseado nas exigências do usuário e atendendo às normas técnicas vigentes. A norma de desempenho inclui métodos de avaliação do atendimento das exigências estabelecidas. Já as normas prescritivas formam um conjunto de exigências pré-estabelecidas e específicas para um determinado produto, com formato, dimensões e materiais perfeitamente definidos, pela consagração de uso de algum tempo. Produtos balizados por normas prescritivas têm características próprias que devem ser mantidas no projeto e na execução, buscando-se adaptar os projetos às características do produto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

O desempenho de um sistema construtivo inovador deve ser avaliado com bases técnicas sob a óptica do conjunto de materiais e componentes, além das condições de emprego a que está submetido (IPT,1998).

3.3 A ABORDAGEM DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

3.3.1 Exigências dos usuários

Para uma abordagem sistêmica do conceito de desempenho, segundo Souza (1983), deve-se caracterizar inicialmente o uso da edificação a partir das exigências dos usuários e as condições de exposição em que se encontra.

Pode-se admitir que a edificação apresenta espaços onde são desenvolvidas atividades previstas, cumprindo uma função esperada, através de elementos e instalações que correspondem a partes da mesma, com o intuito de atender às necessidades do usuário (IPT, 1998).

A grande dificuldade para o desenvolvimento de um produto, sem gerar maiores dispêndios de recursos, está em definir de forma precisa e abrangente, quais propriedades este deva satisfazer, para que possa se atender requisitos técnicos exigidos (THOMAZ, 1987)

“As exigências dos usuários são entendidas como um conjunto de necessidades a serem satisfeitas pelo edifício a fim de que este cumpra a sua função” (SOUZA,1983, p.21).

Já o Comitê Brasileiro de Construção Civil, que elabora a nova Norma de Desempenho de Edificações, considera as exigências do usuário como sendo de necessidade humanas expressas de forma qualitativa, relativas ao comportamento em uso da edificação habitacional. Além do que, pressupõe o atendimento aos requisitos e critérios da referida norma satisfazendo as exigências do usuário (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Por outro lado, segundo Bonin (1998), a abordagem de desempenho das normas ISO de 1985 necessita de atualização e adequação às exigências contemporâneas, A ISO 6241 (1982) lista como requisitos necessários para o usuário apenas cinco grupos qualitativos de análise (segurança, durabilidade, habitabilidade, adequação ao uso e economia), no intuito de abranger as exigências gerais de funcionalidade de uma construção. Nota-se que os aspectos da percepção sensorial e aspectos simbólicos da construção foram deixados de lado em favor da análise objetiva dos requisitos, evitando-se o subjetivismo destes.

O campo de abrangência da ISO 7164 (1985) limita-se a expressar atributos de performance passíveis de quantificação abordando os subsistemas seguintes:

- a) fundações;
- b) estrutura de suporte;
- c) vedações acima e abaixo do solo (telhados, paredes externas com janelas, portas externas, etc.);
- d) separações internas incluindo paredes e portas de separação entre ambientes;

- e) pisos e escadarias;
- f) serviços de aquecimento e ventilação.

No entanto, a referida norma exclui de seu escopo os seguintes sub-sistemas:

- a) rede hidrossanitária;
- b) distribuição de gás;
- c) rede elétrica;
- d) redes de comunicações;
- e) serviços eletromecânicos e mecânicos;
- f) serviços de transporte por gravidade e pneumáticos;
- g) serviços de segurança.

Nas normas ISO 6241 (1982) e ISO 7164 (1985) existe a falta de um requisito para avaliar a flexibilidade da tecnologia adotada, ou seja, a capacidade do prédio em atender exigências de mercado, como adaptações em instalações, redes de lógica, cabeamento, ou simplesmente introdução de equipamento inusitado (BONIN,1998).

Outro requisito nesta linha tem sido identificado como importante para sintetizar aspectos dispersos constantes na ISO 6241 (1982), a evolutibilidade, ou flexibilidade de uso, que revela a capacidade do imóvel em acompanhar a evolução das necessidades de seus usuários ao longo de sua vida útil, sem perder valor de uso ou de troca (JOHN et al., apud BONIN, 1998).

3.3.2 Condições de exposição

As condições de exposição da edificação refletem o conjunto de ações dos agentes externos e internos atuantes ao longo de sua vida útil (SOUZA, 1983). Portanto é o “*conjunto de ações atuantes sobre a edificação habitacional durante a vida útil de projeto, incluindo cargas gravitacionais, ações externas (clima, solo, ventos etc) e as próprias ações resultantes da*

ocupação (solicitações mecânicas, geração de vapor, utilização controlada do fogo etc)” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Os requisitos elaborados pela norma ISO 6241 (1982) e reeditados pela ISO 7164 (1985) surgiram a partir da aplicação de agentes relevantes para atender à performance necessária aos usuários do prédio em estudo, os quais podem ter origem externa, através da atmosfera e do solo, ou interna à edificação, em função da ocupação e decorrências de projeto, por conseguinte, foram balizados por: agentes mecânicos, agentes eletro-magnéticos, agentes térmicos, agentes químicos e agentes biológicos, conforme mostra a figura 12.

NATUREZA DOS AGENTES	ORIGEM			
	EXTERIOR À EDIFICAÇÃO		INTERIOR À EDIFICAÇÃO	
	ATMOSFERA	SOLO	OCUPAÇÃO	PROJETO
1. MECÂNICOS				
1.1.Gravidade	Cargas de neve, de chuva, de água	Pressão do solo, da água	Sobrecarga de utilização	Cargas permanentes
1.2.Forças e deformações impostas	Pressão congelamento, expansão térmica e por umidade	Escorregamentos, recalques	Esforços de movimento	Retrações, fluência, forças e deformações impostas
1.3.Energia cinética	Vento, granizo, impacto externo, tempestades de areia	Movimentos sísmicos	Impactos interiores, abrasão	Impacto de corpo mole
1.4.Vibrações e ruídos	Barulho proveniente do exterior como aviões, trânsito	Vibrações externas	Ruídos e vibrações interiores oriundos de músicas, aparelhos	Ruídos e vibrações da edificação
2.ELETROMAGNÉTICO				
2.1.Radiação	Radiação solar, radioatividade		Lâmpadas, radioatividade, radiação	Painéis radiantes
2.2.Eletricidade	Raios e relâmpagos	Correntes permanentes	Campos magnéticos	Eletricidade estática, rede elétrica
2.3.Magnetismo				Campos magnéticos
3. TÉRMICOS	Aquecimento, choque térmico, congelamento	Aquecimento global, congelamento	Calor emitido, cigarros	Aquecedores, fogo
4 QUÍMICOS				
4.1.Água e solventes	Umidade do ar, condensação, precipitação	Água superficial, água subterrânea	Lavagem com água, condensação, detergentes, álcool	Rede de água, águas servidas, infiltrações
4.2.Oxidantes	Oxigênio, ozônio, óxidos de nitrogênio	Potencial eletro-químico positivo	Hipoclorito de sódio, água sanitária, água oxigenada	Potencial eletro-químico positivo
4.3.Redutores		Sulfetos	Agentes combustíveis, amônia	Agentes combustíveis, potencial eletro-químico negativo
4.4.Ácidos	Ácido carbônico, excremento pássaros, ácido sulfúrico	Ácido carbônico, ácido húmicos	Vinagre, ácido cítrico, ácido carbônico	Ácido sulfúrico, ácido carbônico
4.5.Bases		Cal	Soda cáustica, hidróxido de potássio, hidróxido de amônia	Soda cáustica, cimentos
4.6.Sais	Névoa salina	Nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos	Cloreto de sódio	Cloreto de cálcio, sulfatos, reboco
4.7.Matérias inertes	Poeira neutra	Calcário, sílica	Gordura, óleos, tintas	Gordura, óleo, poeira
5. BIOLÓGICOS				
5.1.Vegetais	Bactérias, grãos	Bactérias, fungos, mofos, raízes	Bactérias, vegetação doméstica	
5.2.Animais	Insetos, pássaros	Roedores, vermes	Animais domésticos	

Figura 12 – Agentes relevantes para o desempenho da edificação da ISO 6241(1982, p.8).

3.3.3 Requisitos e critérios de desempenho

“Requisitos de desempenho são condições qualitativas, as quais um determinado produto deve atender, quando submetido às condições de exposição, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário” (SOUZA, 1983, p.37).

Os critérios de desempenho são a forma quantitativa de medir os requisitos quando expostos aos agentes relevantes parametrizados por padrões pré-estabelecidos (SOUZA, 1983). São o “conjunto de especificações e procedimentos que visam representar tecnicamente as exigências do usuário segundo as Normas Técnicas vigentes. São expressos de forma a possibilitar a análise objetiva do atendimento ou não às exigências estabelecida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo realizou estudo estabelecendo os critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social, estabelecendo seis requisitos de desempenho a partir das exigências dos usuários e as condições de exposição da habitação, ou seja: desempenho estrutural, estanqueidade à água, segurança ao fogo, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade.

As ISO 6241 (1982) e ISO 7164 (1985), que tratam das normas de desempenho para qualquer tipo de edificação estabelecem alguns requisitos do usuário complementares aos apresentados pelo IPT (1998).

Por outro lado, o Comitê Brasileiro de Construção Civil (COBRACON) que abriga o CB-02, através da Comissão de Estudos – Desenvolvimento de Edificações discute atualmente a formulação de normas de desempenho para edificações com até cinco pavimentos visando critérios de segurança (prevenção de colapso estrutural, riscos de incêndio, choques elétricos), habitabilidade (estanqueidade à água, conforto térmico e acústico, níveis de iluminação, dimensões mínimas e organização funcional dos espaços), higiene e saúde (riscos de ferimentos, proliferação de microorganismos), durabilidade (vida útil requerida para a habitação e suas partes, programas de manutenção) e adequação ambiental (utilização racional de insumos, redução de poluentes), como importantes de serem avaliados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

3.3.3.1 Segurança estrutural

A resistência mecânica em situações dinâmicas e estáticas, atuando individualmente ou em conjunto, a resistência a impactos, o abuso de uso, as cargas acidentais e a fadiga são os requisitos considerados pela norma ISO 6241 (1982). O IPT (1998) trata o item como desempenho estrutural, com análise tanto pelo prisma da segurança em seu estado limite, quanto pelo prisma da utilização, levando-se em conta a deformação dos elementos, a fissuração, ou qualquer outra falha que comprometa a estanqueidade e durabilidade da peça. Faz parte da análise a consideração de esforços acidentais e permanentes, assim como solicitações de uso por impactos e elementos fixados suspensos (IPT,1998).

A nova norma brasileira estabelece que a estrutura principal e demais elementos com função estrutural nas habitações não podem apresentar: ruptura, instabilidade, arrastamento ou tombamento, assim como, estruturas cuja falência de elemento isolado desencadeie processo de colapso progressivo, ou deformações e defeitos acima das tolerâncias especificadas nas normas pertinentes. As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 13 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004)

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
SEGURANÇA ESTRUTURAL	-Estabilidade e resistência estrutural	-Estado limite último	-Análise de projetos, métodos apresentados pela Norma CB-02, ensaios e análises previstas

Figura 13 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para segurança estrutural

3.3.3.2 Estanqueidade

As edificações devem estar protegidas da chuva, de infiltrações, da rede de água e esgotos, de gás, de neve, de pó (ISO 6241, 1982). Para o IPT a estanqueidade à água para uma habitação implica na manutenção da saúde de seus usuários, o teor de umidade dos componentes construtivos influi diretamente no conforto térmico e evita a proliferação de mofos e fungos indesejáveis, além disso, existe outro problema causado pela penetração de umidade, chamado de processo degenerativo, o qual limita a durabilidade da construção, ou seja,

desagregações, fissuras geradas por movimentações higroscópicas, lixiviação, apodrecimento de madeiras e corrosão de metais (IPT,1998).

Conforme a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), todas edificações devem ser estanques à umidade do solo e lençol freático, além da conveniente proteção à água de chuva e à água utilizada na operação e manutenção do imóvel. Os sistemas de impermeabilização adotados como soluções devem garantir a estanqueidade do conjunto através do emprego de técnicas adequadas para cada necessidade de vedação. As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 14.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
ESTANQUEIDADE	-Fontes de umidade externas à edificação	-Estanqueidade à água de chuva, à umidade do solo e lençol freático	-Análise de projetos -Ensaio e corpos de prova -Especificações técnicas
	-Fontes de umidade internas à edificação	-Estanqueidade à água utilizada na operação e manutenção do imóvel	

Figura 14 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para estanqueidade à água

3.3.3.3 Segurança contra incêndio

A segurança contra incêndio deve evitar riscos de explosão e propagação do fogo, efeitos fisiológicos gerados pela fumaça e calor, assim como estipular a detecção e sistemas de alarme, tempo de evacuação, rotas de saída e compartimentação necessária (ISO 6241, 1982). Para o IPT a segurança ao fogo em habitações limita-se em minimizar o início de incêndio, reduzir a possibilidade de propagação de um foco e garantir a segurança do usuário, para tanto, atenção especial nos materiais utilizados e elementos construtivos estruturais e de vedação (IPT,1998).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) apresenta critérios de proteção contra descargas atmosféricas, contra risco de ignição nas instalações elétricas, contra risco de vazamentos nas instalações de gás, retardamento de chamas nas instalações elétricas embutidas em eletrodutos ou não, propagação superficial de chamas, equipamentos de extinção e sinalização, resistência ao fogo das vedações ou elementos construtivos de compartimentação na unidade e com habitações geminadas, portas corta-fogo e selos em *shafts*, portas corta-fogo em elevadores, distâncias entre fachadas de edifícios adjacentes,

limitação de fumaça na habitação, aberturas e rotas de fuga em caso de incêndio, frestas na junção da vedação vertical com piso ou teto, sinalização e iluminação de emergência e acessibilidade de carros de bombeiro.

Os requisitos e critérios de desempenho para segurança contra incêndio estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) levam em consideração a seqüência de etapas possíveis no desenvolvimento deste, onde se observa o início, a propagação no local de origem e para outros ambientes na própria unidade habitacional, o combate ao fogo e evacuação do imóvel, a propagação para outras edificações e a ruína total ou parcial.

As exigências da norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) implicam em baixa probabilidade de início de incêndio, alta probabilidade dos usuários sobreviverem sem sofrer danos pessoais e extensão reduzida de danos à unidade origem e à vizinhança imediata. As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos de avaliação estão sistematizados na figura 15.

3.3.3.4 Desempenho térmico

O controle da temperatura, radiação térmica, velocidade e umidade relativa do ar, controle de condensação são requisitos da norma ISO 6241 (1982), o IPT define o desempenho térmico de uma habitação como sendo medido através do alcance do conforto para o usuário, considerando o resultado global da edificação com todos elementos de vedação atuando em conjunto. No Brasil a média das temperaturas é mais alta comparativamente às dos países europeus, os quais utilizam métodos prescritivos de cálculos que avaliam a racionalização do consumo para aquecimento das habitações. Aqui se utiliza um método que pode ser medido através de softwares de simulação do desempenho do conjunto de partes da habitação, ou por medições no próprio local (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004);

A habitação como conjunto deve ser composta por características que atinjam as exigências mínimas de conforto térmico para os usuários, levando-se em consideração a região de sitio da obra e as respectivas características bioclimáticas parametrizadas por critérios relativamente ao conforto térmico no inverno e conforto térmico no verão (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 16.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	<ul style="list-style-type: none"> -Princípios de incêndio -Inflamação generalizada -Propagação para edifícios adjacentes -Fuga em situação de incêndio -Acessibilidade para combate a incêndio e resgate de vítimas 	<ul style="list-style-type: none"> -Descargas atmosféricas -Ignição instalações elétricas -Vazamentos instalações gás -Retardamento de chamas nas instalações elétricas -Fios e cabos anti-chama -Fiação não embutida em eletroduto -Propagação superficial de chamas -Equipamentos de extinção e sinalização -Resistência ao fogo das vedações ou elementos construtivos de compartimentação -Portas corta-fogo na entrada de unidades habitacionais -Selos corta-fogo em shafts -Portas corta-fogo em acessos a elevadores -Estanqueidade ao fogo entre edificações geminadas -Distâncias entre fachadas de edifícios adjacentes -Limitação de fumaça nos materiais internos da habitação -Aberturas para fuga em caso de incêndio -Número e posição de portas externas -Necessidade de folhas de porta -Frestas na junção da vedação vertical com piso ou teto -Rotas de fuga -Sinalização e iluminação de emergência -Acessibilidade de carros de combate ao fogo 	<ul style="list-style-type: none"> -Análise de projetos ou vistoria em protótipo -Micro-fissuras no corpo das fachadas, micro-destacamentos entre placas -Deslocamentos localizados de revestimentos detectáveis visualmente ou por exame de percussão -Ensaio

Figura 15 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para segurança contra incêndio

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
DESEMPENHO TÉRMICO	<ul style="list-style-type: none"> -Condições de conforto no verão -Condições de conforto no inverno 	<ul style="list-style-type: none"> -Critério e níveis de desempenho para condições de verão -Critério e níveis de desempenho para condições de inverno 	<ul style="list-style-type: none"> -verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para fachadas e coberturas a partir de documentos, ou por meio da simulação computacional do desempenho térmico do edifício, ou também com a realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

Figura 16 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para desempenho térmico

3.3.3.5 Desempenho acústico

O desempenho acústico é alcançado através do controle de ruídos internos e externos, contínuos e intermitentes, reprodução sonora e tempo de reverberação (ISO 6241, 1982), a consideração de conforto acústico proposto pelo IPT (1998) para habitações térreas compreende a avaliação da isolamento tanto de ruídos externos através dos elementos de vedação exterior, como paredes de fachadas e telhados, quanto dos sons gerados entre ambientes internos separados por paredes de divisa, como em casas geminadas. Já os critérios adotados pelo CB-02 são parametrizados pelo nível tolerável de ruído no interior da habitação, isolamento ao som aéreo ao redor da habitação, isolamento do som transmitido através de entrepisos e paredes internas, ruídos transmitidos por impactos ou vibrações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

As habitações devem reunir características que atendam as exigências de privacidade e conforto acústicos de seus usuários, de forma a apresentar adequado isolamento acústico entre ambientes e com as vedações externas, relativamente aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 17.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
DESEMPENHO ACÚSTICO	-Isolação acústica de vedações externas	-Nível tolerável de ruído no interior da habitação -Isolação ao som aéreo da envoltória da habitação	-Medição no local cálculo por algoritmo
	-Isolação acústica entre ambientes -Ruídos por impactos e ruídos de equipamentos	-Isolação ao som aéreo de entrepisos e paredes internas -Ruídos gerados por impactos ou vibrações	

Figura 17 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para desempenho acústico

3.3.3.6 Durabilidade e manutenibilidade

Manutenção da performance além da vida útil através de manutenção regular é recomendada pela norma ISO 6241 (1982). Complementarmente o IPT considera a durabilidade como sendo um requisito de desempenho mais complexo de ser analisado se comparado com os outros, pois cada elemento construtivo reúne diversos componentes com características diferentes, que sofrem degradação por um somatório de influências externas que se alternam

e são de difícil determinação, esta composição apresenta grande variabilidade principalmente ao longo do tempo, gerando incertezas nos resultados dos ensaios, os quais são intensificados pelos agentes agressivos adotados, porém, sem precisões nas correlações temporais e de intensidade. No entanto, mesmo com baixa precisão, os ensaios objetivam antecipar o comportamento dos elementos ao longo do tempo de vida útil, fornecendo referenciais indicativos da durabilidade significativos para novos sistemas construtivos (IPT,1998).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) alia o requisito durabilidade com manutenibilidade, com critérios de vida útil de projeto, prazos de garantia dos elementos e componentes, visando avaliar a capacidade do produto de conservar ao longo do tempo desempenho compatível com a utilização prevista sob condições de instalação, operação e manutenção especificada. Para isto observam-se influências da cobertura sobre a construção, influências da água projetada da cobertura sobre as fundações e paredes externas, proteção contra corrosão de armaduras em peças de concreto, durabilidade da madeira frente à ação de fungos e de insetos xilófagos, durabilidade de componentes em aço e proteção contra a corrosão, durabilidade de componentes em alumínio anodizado e plástico, condições para limpeza e manutenção dos elementos e componentes.

A previsão de projeto para manter a capacidade funcional durante toda a vida útil dos elementos, componentes e instalações pertencentes às habitações, implica em o usuário submeter a unidade a intervenções periódicas de manutenção e conservação atendendo as instruções do fornecedor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 18.

3.3.3.7 Segurança no uso e operação

A segurança referente a agentes agressivos como: explosões, queimadas, pontas e beirais, mecanismos de movimento, ser eletrocutado, radioatividade, inalação ou contato com substâncias venenosas, infecções; segurança de deslocamento como passagem desobstruída, proteções, segurança contra intrusos humanos ou animais são requisitos abordados pela ISO 6241 (1982), já o IPT (1998) não contempla este requisito.

Segundo o projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), ao longo da vida útil de uma determinada edificação deve haver segurança para o usuário relativamente aos elementos e componentes que a constituem. Neste sentido, os usuários da habitação devem seguir os cuidados de uso e efetuar as manutenções preventivas e corretivas necessárias. As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 19.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE	<ul style="list-style-type: none"> -Vida útil da construção e das suas partes -Interações da cobertura com o corpo principal da construção -Durabilidade dos materiais e componentes - Limpeza e manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> -Vida útil de projeto e prazos de garantia dos elementos e componentes -Ações da cobertura sobre o corpo principal da construção -Ações da água projetada da cobertura sobre as fundações e paredes de fachada -Proteção contra corrosão de armaduras em peças de concreto armado ou protendido -Durabilidade da madeira frente à ação de fungos -Durabilidade da madeira frente à ação de insetos xilófagos -Durabilidade de componentes em aço -Proteção contra a corrosão bimetalica -Durabilidade de componentes em aço zincado e/ou pré-pintado -Durabilidade de componentes em alumínio anodizado -Durabilidade de componentes em plástico -Condições para limpeza e manutenção dos elementos e componentes 	<ul style="list-style-type: none"> -Análise de projeto, cálculo estrutural, cálculos de fluxo de calor e movimentações térmicas. -Ensaio -Métodos específicos

Figura 18 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para durabilidade e manutenibilidade

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
SEGURANÇA NO USO E OPERAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> -Segurança na utilização do imóvel -Segurança das instalações 	<ul style="list-style-type: none"> -Segurança na utilização dos elementos e componentes -Segurança na utilização das instalações 	<ul style="list-style-type: none"> -Análise de projetos, inspeções em protótipos, ensaios e análises. Os elementos e componentes que contam com normalização específica (portas, janelas, tubos e outros) devem atender às exigências das respectivas normas técnicas em vigor.

Figura 19 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para segurança no uso e operação

3.3.3.8 Saúde, higiene e qualidade do ar

Na ISO são definidos critérios de ventilação e controle de odores considerados independentes do requisito higiene. Observa-se a facilidade no cuidado e limpeza, rede de água potável, retirada de dejetos materiais e fumaça, rede sanitária e emissão de contaminantes (ISO 6241, 1982).

Para o CB-02 estes requisitos andam juntos envolvendo saúde, higiene e qualidade do ar, com critérios máximos admitidos por contaminação microbiológica, por dióxido de carbono, por aerodispersóides, por liberação de gases e instalações e prevenções contra contaminação da água potável, assim como, contaminação do solo, do ar ou da água com metais pesados, partículas em suspensão, entre outros, relativamente aos materiais, componentes e instalações devem atender as restrições legais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Estes requisitos não foram considerados pelo IPT (1998).

A natureza dos materiais empregados na construção, bem como, as condições de umidade e temperatura interna à edificação, devem dificultar a proliferação de microorganismos. As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 20.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
SAÚDE, HIGIENE E QUALIDADE DO AR	-Proliferação de microorganismos	-Máxima contaminação microbiológica admitida	-Análises de acordo com a Norma Técnica 002 estabelecida na Resolução RE n.º 176 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2000).
	-Poluentes na atmosfera interna à habitação	-Máxima contaminação por dióxido de carbono admitida -Máxima contaminação por aerodispersóides admitida	
	-Contaminações das instalações prediais	-Liberação de gases e microorganismos pelas instalações -Prevenção contra contaminação da água potável	

Figura 20 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para saúde, higiene e qualidade do ar

3.3.3.9 Desempenho lumínico

A iluminação natural e artificial, insolação, sombreamento, aspectos dos ambientes e superfícies, contato visual interno e com o exterior, liberdade de visuais e privacidade estão no escopo de análise da ISO 6241 (1982). O IPT (1998) não abordou este requisito. Já a

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) utiliza critérios de níveis mínimos de iluminação natural e níveis mínimos de iluminação artificial.

Apregoa o projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) que, ao longo do dia, todas as dependências da habitação devem receber iluminação natural, sendo provinda diretamente do exterior ou, indiretamente, através de recintos adjacentes. Na ocasião do período noturno, o sistema de iluminação artificial deve proporcionar com conforto e segurança condições satisfatórias para a ocupação e circulação nos recintos internos. As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 21.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
DESEMPENHO LUMÍNICO	-Iluminação natural	-Níveis mínimos de iluminação natural	-Cálculo e medição no local
	-Iluminação artificial	-Níveis mínimos de iluminação artificial	

Figura 21 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para desempenho lumínico

3.3.3.10 Conforto tátil e antropodinâmico

A propriedade das superfícies, rugosidade, secura, temperatura, flexibilidade, livres de eletricidade estática, mais o desempenho dinâmico, assim como a aceleração e vibração contínua ou isolada causada por pessoas, conforto em áreas de vento, inclinação de rampas, lances de escadas, praticidade na operação de portas, janelas e equipamentos são tratados pela norma (ISO 6241, 1982) e são baseados nos critérios de adequação ergonômica e força necessária para o acionamento de dispositivos de manobra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Estes requisitos não são considerados pelo IPT (1998).

As atividades normais dos usuários não devem ser prejudicadas por elementos, componentes, equipamentos ou quaisquer acessórios ou partes da habitação que apresentem rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades, impedindo ou atrapalhando os atos de caminhar, apoiar, limpar, brincar, etc. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 22.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
CONFORTO TÁTIL E ANTROPODINÂMICO	-Conforto tátil / adaptação ergonômica	-Adequação ergonômica de dispositivos de manobra	-Análise de projetos -Métodos específicos e ensaios
	-Adequação antropodinâmica de dispositivos de manobra	-Força necessária para o acionamento de dispositivos de manobra	

Figura 22 – Exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos para conforto tátil e antropodinâmico

3.3.3.11 Funcionalidade e acessibilidade

A quantidade, tamanho, geometria, subdivisão e integração de espaços, serviços e equipamentos, mobília, flexibilidade são abordados pela norma ISO 6241 (1982). A definição de funcionalidade e acessibilidade, para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), baseia-se em critérios de disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação, adequação das instalações, adaptação para portadores de deficiências ou com mobilidade reduzida e previsão de ampliação para unidades habitacionais evolutivas.

Os projetos de arquitetura de unidades habitacionais devem prever as dimensões mínimas dos móveis e equipamentos padrão existentes no mercado, abrangendo todos os espaços de utilização com adequada organização dos cômodos e dimensões compatíveis com as necessidades humanas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). As exigências dos usuários, requisitos, critérios e métodos estão sistematizados na figura 23.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS	CRITÉRIOS	MÉTODOS
FUNCIONALIDADE E ACESSIBILIDADE	-Dimensões mínimas e organização funcional dos espaços	-Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação	-Análise do programa de necessidades e dos projetos, comprovando-se a adequação dos espaços para a inclusão e utilização de móveis, equipamentos e instalações.
	-Adequação das instalações prediais	-Adequação das instalações hidrossanitárias	
	-Adequação para portadores de deficiências físicas / mobilidade reduzida	Adaptação do imóvel para pessoas portadoras de deficiências ou com mobilidade reduzida	
	Capacidade de suporte a cargas suspensas	-Peças suspensas fixadas em paredes ou tetos	
	-Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	-Ampliação de unidades habitacionais evolutivas	

Figura 23 – Exigências dos usuários requisitos, critérios e métodos para funcionalidade e acessibilidade

3.3.3.12 Adequação ambiental

A edificação deve atender a uma série de anseios dos seus ocupantes. É fundamental que a construção reúna qualidades mínimas necessárias para que se atenda as condições básicas de segurança, saúde, higiene e bem-estar de seus usuários. Este requisito só é considerado pelas Normas da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004).

Segundo a ABNT, as técnicas de avaliação do impacto ambiental geradas pelas atividades da produção de obras ainda são objeto de pesquisa, no atual estado da arte não é possível determinar critérios, métodos de avaliação e níveis de desempenho relacionados a esse impacto. No entanto, recomenda que sejam considerados os seguintes cuidados:

- a) Riscos de desconfinamento do solo, deslizamentos de taludes, enchentes, erosões, assoreamento de vales ou cursos d'água, lançamentos de esgoto a céu aberto, contaminação do solo ou da água por efluentes ou outras substâncias;
- b) Recomenda-se que os empreendimentos sejam construídos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias primas. Devem ser privilegiados os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais à sua utilização final;
- c) Durante a construção, deve-se implementar um sistema de gestão de resíduos no canteiro da obras, de forma a minimizar sua geração e possibilitar a segregação de maneira adequada para facilitar o reuso, a reciclagem ou a disposição final em locais específicos;
- d) Cabe aos fabricantes de materiais, componentes e equipamentos apresentarem resultados de inventários de ciclo de vida de seus produtos, de forma a subsidiar a tomada de decisão na avaliação do impacto que estes elementos provocam ao meio ambiente;
- e) As instalações hidrossanitárias devem privilegiar a adoção de soluções que minimizem o consumo de água e possibilitem o reuso, reduzindo a demanda da água da rede pública de abastecimento e minimizando o volume de esgoto conduzido para tratamento, sem com isso reduzir a satisfação do usuário de acordo com as normas técnicas vigentes ou aumentar a probabilidade de ocorrência de doenças;
- f) As águas servidas provenientes dos sistemas hidrossanitários devem ser encaminhadas às redes públicas de coleta e, na indisponibilidade desta, recomenda-se a utilização de sistemas que evitem a contaminação do ambiente local;
- g) As instalações elétricas devem privilegiar a adoção de soluções que minimizem o consumo de energia, dentre elas a utilização de iluminação e ventilação natural e de sistemas de aquecimento baseados em energias alternativas;
- h) Tais recomendações devem ser também aplicadas aos aparelhos e equipamentos utilizados durante a execução da obra e no uso do imóvel (guinchos, serras, guas, aparelhos de iluminação, eletrodomésticos, elevadores, sistemas de refrigeração, etc).

As exigências dos usuários e os requisitos em relação à adequação ambiental estão sistematizados na figura 24.

EXIGÊNCIAS USUÁRIOS	REQUISITOS
ADEQUAÇÃO AMBIENTAL	-Projeto e implantação de empreendimentos -Seleção e consumo de materiais -Consumo de água e deposição de esgotos no uso e ocupação da habitação -Consumo de energia no uso e ocupação da habitação

Figura 24 – Exigências dos usuários requisitos, critérios e métodos para adequação ambiental

3.3.4 Métodos de avaliação de desempenho

Os critérios de desempenho selecionados para verificar o atendimento das condições de determinado material ou produto podem ser feitos por vários métodos, de acordo com SOUZA (1983) conforme itens a seguir:

- a) selecionado por especialista;
- b) análise funcional;
- c) uso de métodos de ensaio;
- d) comportamento do material em uso;
- e) estudo sistemático dos requisitos do usuário.

Os métodos de avaliação de desempenho são considerados como técnicas uniformes que possibilitam analisar se um produto ou material determinado atende às condições para ele estipuladas, podendo ser classificados como ensaios e medidas que determinam propriedades físicas ou medem desempenho, além de métodos de cálculos e julgamento (SOUZA,1983).

Bonin (1985) recomenda que os métodos de teste de desempenho devem ter como características a independência do elemento testado. Quando não é possível ou necessária a grande precisão, devem ser adotados métodos mais simples. A precisão deve estar vinculada ao objetivo a ser alcançado, com possibilidade de reprodução e repetição. Quando possível, deve-se estabelecer uma classificação qualitativa dos elementos da construção.

Conforme apresentado pelo CIB (1982), deve existir uma correlação entre o desempenho estimado para os elementos de construção e os resultados de amostras testadas, seguindo relações estatísticas para este fim.

Para a utilização de um método de avaliação de desempenho é necessário levar-se em consideração as propriedades em uso a que o elemento está sujeito. Estas propriedades são os parâmetros de avaliação do nível de desempenho, que por sua vez são as reações aos efeitos gerados pela ação dos agentes ambientais a que estão submetidos. Na figura 25 apresenta-se uma lista de propriedades em uso elaborada pelo CIB (1982).

Os métodos de teste de desempenho se prestam para determinar os atributos de desempenho a partir da avaliação de um elemento da construção em função das propriedades em uso. Estes atributos representam o comportamento real em uso do elemento construtivo, sendo este expresso da mesma forma que os requisitos de desempenho, o que facilita a avaliação de sua adequação (BONIN, 1985).

As edificações podem ser divididas em diferentes níveis hierárquicos, que refletem o grau de agrupamento característico de cada tecnologia, e podem ser representados pela seguinte escala, adotada pelo CIB (1982), entre outros:

- a) edificações ou sistemas construtivos;
- b) sub-sistemas;
- c) elementos ou montagens de componentes;
- d) componentes;
- e) produtos gerais;
- f) materiais.

Existem diversos métodos para medir desempenho dos materiais, disponibilizados no meio acadêmico. Como exemplos citam-se o método de Schodek, o método de Blach e o método de avaliar desempenho ao longo do tempo de vida útil (BONIN, 1985), explicitados superficialmente a seguir. No entanto, os métodos apresentados pelo Cobracon, relativamente ao projeto de norma brasileira, serão abordados mais detalhadamente na sequência do item 3.3.4.1 até o item 3.3.4.7.

<p>1. Propriedades ativas</p> <ul style="list-style-type: none"> - capacidade - produção - consumo <p>2. Propriedades estruturais e mecânicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - resistência à compressão - resistência à tração - resistência ao corte - módulo de elasticidade estático - módulo de elasticidade dinâmico - coeficiente de atrito <p>3. Propriedades relacionadas à resistência ao fogo</p> <ul style="list-style-type: none"> - inflamabilidade - resistência à propagação superficial de chamas - liberação de calor, fumaça e gases <p>4. Propriedades da matéria</p> <ul style="list-style-type: none"> - estanqüidade a gases (ar) - resistência ao vapor d'água - viscosidade - capilaridade - capacidade de absorção de gases e líquidos - porosidade - solubilidade - resistência aos efeitos de solventes, ácidos e álcalis - resistência à corrosão - resistência a efeitos foto-químicos <p>5. Propriedades biológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - resistência ao ataque de fungos e bactérias - resistência à ação de vegetais e animais 	<p>6. Propriedades térmicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - coeficiente de dilatação térmica - calor específico - temperatura máxima e mínima de serviço - condutividade - difusividade - coeficiente de transferência de calor - capacidade de calor - admitância - absorvência - emissividade <p>7. Propriedades óticas</p> <ul style="list-style-type: none"> - transmissibilidade - absorvência - refletância - opacidade - luminância (brilho) - intensidade de iluminação <p>8. Propriedades acústicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - absorção - reflexão - tempo de reverberação - resistência a ruídos aéreos e da estrutura <p>9. Propriedades elétricas e magnéticas</p> <ul style="list-style-type: none"> - intensidade de campo elétrico - potencial - resistência - capacitância - reação a efeitos eletromagnéticos e eletrostáticos - reação à radiatividade - ionização <p>10. Propriedades de durabilidade e confiabilidade</p> <ul style="list-style-type: none"> - resistência ao uso.
--	--

Figura 25 – Lista de propriedades em uso (CIB, 1982).

Schodek propôs um método com nomenclatura adaptada do CIB (1982), o qual infere um único valor numérico que represente o desempenho global do elemento de construção na situação de uso prevista. O referido método propõe pesos representativos pela importância relativa de cada propriedade em uso, comparada com o atributo de desempenho e estes em relação ao desempenho global. Este método facilita em muito quando se necessita justificar uma opção, entretanto, o estabelecimento de pesos de importância relativa implica em um arbitramento subjetivo, o qual pode ter sua validade questionada, além do que, a conversão de propriedades em uso com avaliação subjetiva para valores numéricos é bastante duvidosa (SCHODEK, 1973 apud BONIN, 1985).

O método de avaliação de desempenho de Blach se apresenta simples e de fácil aplicação, trata-se de um único diagrama com diversos atributos expressados pela combinação das escalas e intervalos, comparados com um perfil ótimo de comportamento para retratar o perfil de desempenho global do elemento em análise. O perfil de referência pode ser expresso através de uma linha ou uma faixa ótima de desempenho, unindo as diversas escalas de atributos (BLACH, 1979 apud BONIN, 1985).

Podemos ainda avaliar desempenho ao longo do tempo de vida útil do elemento ou edificação, levando-se em consideração que, além dos custos iniciais de construção, temos os custos de manutenção, em função de seu comportamento em uso (SILVA, 1997).

Considerando que o fator durabilidade já esteja contemplado nos requisitos de desempenho, ainda assim, a proposta do CIB (1998) busca analisar a influência das decisões de projeto e verificar a estratégia de manutenção a ser adotada, resultando diretamente no desempenho dos elementos constituintes da edificação, suas vidas de utilização e seus custos totais ao longo deste período.

3.3.4.1 Método para medir desempenho estrutural das paredes

O desempenho estrutural do prédio, seus elementos e componentes deve ser analisado através dos estados limites último e de utilização, pelo método semi-probabilístico de cálculo estrutural. Com a consideração da resistência mecânica dos materiais ou componentes e as solicitações características, conforme as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004).

O estado limite de serviço deve garantir a durabilidade e utilização normal da estrutura, limitando-se a magnitude das deformações, a formação de fissuras e a ocorrência de falhas localizadas que possam prejudicar os níveis de desempenho previstos para a própria estrutura e para os demais elementos e componentes que compõem a construção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

3.3.4.2 Método de avaliação da proteção contra incêndio

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), os elementos construtivos, materiais de revestimento, acabamento e/ou de isolamento termo-acústico devem ser ensaiados mediante a reprodução fiel das respectivas condições de utilização. A comprovação do atendimento ao critério também poderá ser feita através de avaliação técnica baseada em resultados de ensaios realizados ou por meio de métodos analíticos.

3.3.4.3 Método de avaliação de estanquidade

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) prega que a avaliação de estanquidade deva iniciar pela análise de projeto e também atender às disposições das normas brasileiras específicas. Atenção especial deve ser dada para as interfaces e juntas entre componentes e detalhes construtivos como pingadeiras e peitoris, para facilitar o escoamento da água. Na avaliação de projeto considera-se a possibilidade de corrosão das peças metálicas das paredes e janelas ou ainda qualquer outra deterioração devida à eventual infiltração de água. No projeto os detalhes de proteção no entorno da construção, como calçadas de contorno e drenos de superfície, além de faixas de revestimentos repelentes à água na parcela inferior das paredes, são aspectos observados.

3.3.4.4 Método de avaliação de isolamento térmico

O método adotado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) implica em cálculo conforme os procedimentos apresentados no projeto de norma em estudo. Para as paredes que possuam na sua composição materiais isolantes térmicos de baixa condutividade térmica ou espaços de ar com boa resistência, o cálculo da capacidade térmica será feito desprezando-se todos os materiais voltados para o exterior localizados a partir do isolante ou espaço de ar existente. Na análise do projeto arquitetônico os ambiente de longa permanência seguirão uma relação com a área efetiva de ventilação do ambiente e a área de piso deste.

3.3.4.5 Método de avaliação do isolamento acústico

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) a avaliação do isolamento acústico deve iniciar pela análise de projeto. A edificação deve proporcionar isolamento acústico adequado entre o meio interno e o externo, assim como, entre unidades distintas. Além do que, deve proporcionar isolamento acústico adequado entre dependências de uma mesma unidade, quando destinadas ao trabalho intelectual, ao repouso noturno e ao lazer doméstico.

O isolamento acústico é projetado a partir do desempenho acústico dos materiais, componentes e elementos construtivos, com o objetivo de garantir conforto acústico, em termos de níveis de ruído de fundo transmitido via estrutural e aérea. Para verificação do atendimento deste requisito há necessidade de medições do isolamento acústico, que podem ser realizadas em campo ou em laboratório, com a utilização de um dos três métodos a seguir (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004):

- a) **método de precisão** realizado em laboratório determina a isolação sonora de componentes construtivos como portas, paredes, janelas, ou outros elementos, sendo necessário ensaiar cada componente e depois calcular o isolamento global do conjunto;
- b) **método de engenharia** realizado em campo determina a isolação sonora global da vedação externa e a isolação sonora global entre ambientes no caso de paredes internas, caracterizando com rigor o comportamento acústico do sistema a ser examinado;

- c) **método simplificado** realizado em campo oferece uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa e uma estimativa de isolamento sonora global entre ambientes para o caso de paredes internas, quando não se dispõe de instrumentação para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não possibilitem obter este parâmetro. Neste caso, devem ser avaliadas todas as vedações externas voltadas para os dormitórios e salas de estar da habitação.

3.3.4.6 Método de avaliação de durabilidade e manutenibilidade

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) a seleção de métodos e procedimentos de ensaio para análise da durabilidade e manutenibilidade de materiais específicos devem ser consultadas normas técnicas brasileiras e internacionais.. Para o conjunto de normas brasileiras considera-se importante a análise do manual de operação, uso e manutenção das edificações, assim como seguir os métodos de análise de desempenho da durabilidade apresentados pelo documento "**Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**" de 1985, que avalia através de cálculo estrutural, modelagem, ensaios em protótipos, ensaios em componentes e elementos através de testes de impacto de corpo mole e de corpo duro em paredes, pisos e coberturas (IPT, 1985).

3.3.5 Níveis de desempenho

Níveis mínimos de desempenho para os diferentes elementos e partes da construção devem ser obrigatoriamente atendidos, como recomenda a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia. No entanto, fica considerada a possibilidade, por parte do construtor e outros intervenientes, de agregar qualidade aos produtos e gerar um conseqüente aumento de desempenho que exceda às necessidades mínimas. Para estes casos utiliza-se nível intermediário de desempenho ou nível superior de desempenho, com diferentes relações custo/benefício.

Na verificação do atendimento aos diferentes critérios de desempenho, os métodos de avaliação consideram em geral a realização de ensaios laboratoriais, provas de carga, simulações, cálculos e análises qualitativas. Para o caso de um número significativo de unidades do sistema construtivo já estiverem prontas, ou se algum componente já tiver sido

Elementos de análise para gestão de processos e desempenho de produtos em sistemas construtivos: estudo de caso com sistemas que adotam perfis auto-encaixáveis de PVC e concreto.

instalado diversas vezes, pode-se considerar na avaliação a utilização de inspeções de campo parametrizadas pelos critérios de desempenho, desde que o objeto construído ou instalado seja exatamente igual ao da avaliação que se deseja fazer, não se inferindo ou extrapolando resultados para condições diversas de clima, implantação ou agressividade do meio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Em avaliações baseadas na realização de ensaios de laboratório, a amostragem deve ser aleatória, com número de repetições indicado no respectivo método de avaliação, ou na falta deste, na respectiva especificação ou norma prescritiva do produto. Caso não haja nenhuma indicação específica, os ensaios devem ser executados em cinco corpos-de-prova idênticos, admitindo-se que o critério foi atendido quando nenhum ou apenas um resultado ficou fora da especificação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um produto ou de uma técnica construtiva destinada a cumprir uma função, independentemente da solução material adotada. Para atingir esta finalidade, a avaliação de desempenho deve submeter a edificação e/ou suas partes constituintes a uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do produto nas condições de uso definidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

É conveniente limitar o número de requisitos a serem considerados em um contexto de uso definido, restringindo a avaliação aos requisitos mais fundamentais. Do mesmo modo, para atender à interpretação objetiva do comportamento em uso da edificação ou de suas partes constituintes, devem ser considerados apenas os requisitos de desempenho para os quais existem métodos de ensaio e critérios de avaliação de resultados de eficácia reconhecida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

O documento técnico resultante da avaliação de desempenho de um componente ou sistema construtivo deve identificar perfeitamente o objeto analisado, reunindo informações sobre a forma, peso, materiais constituintes, reforços, pinturas, sistemas de proteção ou acabamento, etc. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

4 MODELO DE ANÁLISE E ESTUDO DE CASO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo detalha o modelo de análise adotado na pesquisa e apresenta o estudo de caso aplicado. Relativamente ao modelo de análise, apresenta-se a estratégia da pesquisa em linhas gerais, discutindo-se a conformação do trabalho. A seguir, apresenta-se o delineamento da pesquisa, contendo a descrição das etapas, com as ferramentas, as técnicas utilizadas na coleta de dados, o método empregado e a matriz de análise. Por fim, o estudo de caso é descrito em todas suas etapas de abordagem.

O objetivo principal desta pesquisa, conforme apresentado no capítulo 1, é montar uma ferramenta de utilização simplificada através da eleição dos elementos mais estatísticos e acessíveis para análise comparativa de processos e desempenho dos materiais componentes dos sistemas construtivos sob análise.

Têm-se portanto, um exemplo de como montar uma ferramenta de primeira análise que auxilie empreendedores, especificadores ou gestores da indústria da construção civil, para comparar a adequação de um determinado sistema construtivo frente a outro, atendendo uma determinada finalidade com relativa consistência e rapidez.

A ferramenta terá caráter qualitativo e servirá para análise e interpretação dos dados, relativamente à linha de abordagem tomada pela produção enxuta e ao desempenho dos materiais direcionado pelo projeto de norma brasileira sobre o assunto. Estas linhas de análise estão consubstanciadas nos capítulos 2 e 3, onde ficou claro o direcionamento dado no final da fase de coleta de dados e investigação, no sentido de serem os sustentáculos referenciais da ferramenta deste capítulo.

O intuito de compor uma ferramenta de uso simples e objetivo resulta do levantamento feito pelos capítulos 2 e 3, onde se percebe a extensa listagem e grande complexidade dos critérios, requisitos e métodos estudados, tanto sobre processos, quanto sobre desempenho de materiais.

Este aspecto é reforçado pelo capítulo 5, que apresenta a descrição das características de dois sistemas construtivos novos no mercado brasileiro, onde a carência de informações sobre processos e desempenho não condiz com as exigências acadêmicas e normativas levantadas pelos capítulos 2 e 3, ou seja, os fabricantes se preocupam apenas em atender e medir alguns critérios considerados mais relevantes por eles. Portanto, o grau de complexidade e o nível de exigência requerida por esta ferramenta de análise será o mais simples possível procurando compor uma avaliação consistente, com visão sistêmica de processos e materiais adotados nas tecnologias.

4.2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

De acordo com YIN (2001), uma pesquisa pode ser desenvolvida baseada em levantamento, estudo de caso, experimento, pesquisa histórica, entre outras, e depende de três condicionantes: o tipo de questão de pesquisa, o controle que o pesquisador exerce sobre os eventos em estudo e o grau de investigação da pesquisa com fatos atuais.

Para o presente trabalho escolheu-se a estratégia de pesquisa de estudo de caso descritivo, onde o pesquisador procura respostas do tipo “como” e “porquê”, tendo pouco controle sobre os eventos do ambiente e escassa possibilidade de obter resultados generalizáveis para proposições teóricas (YIN, 2001). O estudo de caso descritivo será do tipo *ex-post-facto*, onde os fatos estudados ocorreram anteriormente à coleta de dados para a pesquisa (GIL, 1996).

O processo de produção foi tratado de forma sistêmica, com atenção na tecnologia de processos e de produtos, na organização e divisão do trabalho e na gestão da produtividade (SILVA, 1997), seguindo diretrizes da nova teoria da produção e o atual projeto de norma de desempenho para edificações de até cinco pavimentos.

O suporte dado ao processo decisório baseou-se em métodos de identificação de necessidades, tratamento e organização das informações e dados, comparação de alternativas, atribuição de valor e *feed-back*. A ferramenta é aberta e não apresenta instrumentação excessiva, pois tem essência conceitual baseada num fluxo de informações estruturado, que busca dar apoio à avaliação da tecnologia (SILVA, 1997). No item seguinte é apresentado o delineamento geral traçado para a pesquisa.

4.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A metodologia desenvolvida para o andamento desta pesquisa está ilustrada na figura 26 e apresenta-se sub-dividida em três etapas: a primeira, de coleta e investigação, a segunda, de elaboração de uma ferramenta simples de análise de processos e desempenho de produtos e a terceira, de aplicação e interpretação dos dados. As três etapas envolvem ferramentas e técnicas para processamento dos dados coletados através de múltiplas fontes de evidências, como descrito por YIN (1994).

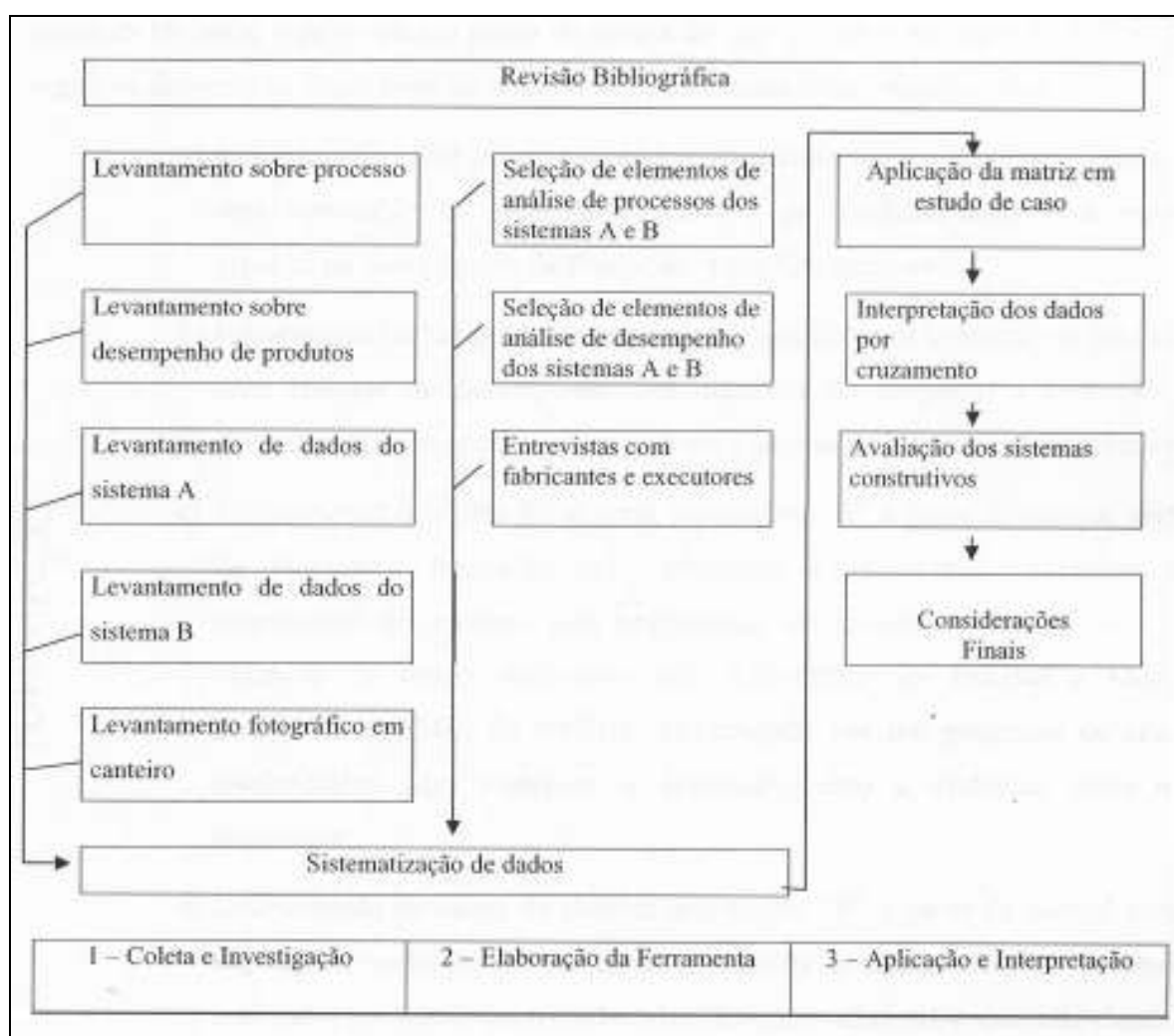


Figura 26- Metodologia de pesquisa adotada

4.3.1 Etapa de Investigação

Na primeira etapa do trabalho buscou-se levantar dados, documentos, fotografias e rever a bibliografia pertinente ao assunto, para obter subsídios que direcionassem a coleta e análise dos dados, estabelecendo uma base teórica em relação ao fato e auxiliando na generalização dos resultados (YIN, 2001). Os documentos levantados, as observações feitas diretamente ou por registro fotográfico e as entrevistas obtidas com os intervenientes no fenômeno frequentemente baseiam as pesquisas qualitativas (MILES; HUBERMAN, 1994 apud SOARES, 2001). Além disso, a interação com as fontes sistemáticas de dados e documentos resultam no lastro teórico para o plano de coleta do que se deseja focar (YIN, 2001). A seguir se descreve os cinco tipos de levantamento realizados nesta primeira etapa:

- a) sobre processos produtivos pertinentes aos sistemas construtivos com apreciação da evolução histórica e da condição atual, com enfoque especial na Nova Teoria da Produção “Lean Construction”
- b) sobre produtos pertencentes aos sistemas construtivos em estudo com enfoque no desempenho dos materiais do conjunto, a evolução dos conceitos de desempenho internacionais e análise das atuais normas brasileiras;
- c) de dados do sistema construtivo “A” a partir de manual técnico de montagem fornecido pelo fabricante e entrevistas realizadas com responsável da empresa pela implantação do sistema no Brasil, além da obtenção de laudos realizados pelo Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS, encarregado por um programa de ensaios estabelecidos para viabilizar o desenvolvimento e avaliação desta nova tecnologia;
- d) de dados do sistema construtivo “B” a partir de manual técnico digital fornecido pelo representante, consulta a laudos técnicos de ensaios realizados por entidades reconhecidas internacionalmente e consulta eletrônica ao “site” da empresa;
- e) fotográfico de todas etapas do processo construtivo realizado em canteiro de obras localizado na cidade de Canoas, RS, durante o ano de 2003.

O levantamento fotográfico citado no item “e” abrange todas etapas do processo produtivo, contendo o desenvolvimento de ambos sistemas construtivos no mesmo canteiro, sendo oito unidades representando o sistema A e 122 unidades representando o sistema B.

O registro fotográfico é uma ferramenta que serve para dar apoio aos registros da realidade observada em canteiro e diagnosticada por entrevistas com os gestores ou executores (YIN, 2001).

4.3.2 Etapa de elaboração da ferramenta

A segunda etapa, relativa à elaboração da ferramenta de análise, implicou na interação dos dados levantados, dentro de cada contexto específico desta, por exemplo, a revisão bibliográfica sobre processos culminou com a eleição de critérios e técnicas a serem levados em consideração para esta fase, assim como a revisão bibliográfica sobre desempenho de produtos resultou na escolha de critérios e técnicas também. Este somatório de critérios e técnicas balizou a composição da matriz, juntamente com as técnicas de entrevistas com intervenientes do processo, reunião de documentos fornecidos pelos executores, discussão com especialistas e observação direta do pesquisador. Neste sentido, estabeleceu-se uma lista de verificação dos elementos físicos de obra mais relevantes a serem considerados para análise:

- a) fundações;
- b) paredes portantes internas e externas;
- c) instalações elétricas e hidrossanitárias;
- d) cobertura;
- e) esquadrias;
- f) revestimentos.

A ferramenta proposta tem o papel de estabelecer bases para uma abordagem preliminar a respeito dos processos intrínsecos da tecnologia e o desempenho de seus materiais. A instrumentação requerida é relativamente simples e está descrita no item 4.4, que apresenta as técnicas e ferramentas utilizadas para este fim.

Como complementação se realizaram entrevistas com os intervenientes dos processos de produção sobre fatos ocorridos durante o desenvolvimento da obra com os dois sistemas, no intuito de conhecer as opiniões do executor sobre o estado atual do sistema e dos procedimentos informais aplicados, assim como, a organização do trabalho em canteiro (KENDALL; KENDALL, 1991). As entrevistas feitas seguiram o tipo focal, onde um conjunto programático de questões é aplicado informalmente ao entrevistado em um curto espaço de tempo. De acordo com YIN (2001), as informações obtidas a partir de uma entrevista devem ter confirmação por dados de outras fontes.

As observações diretas feitas pelo pesquisador caracterizam as pesquisas qualitativas, que são baseadas em observações, entrevistas e documentos (MILES; HUBERMAN, 1994) e são conduzidas com a experiência normal do dia-a-dia por contato intenso ou prolongado com o fato. Algumas condições ambientais e comportamentos relevantes podem ser analisados por este tipo de observação, além de, a coleta de dados poder variar entre atividades formais até atividades informais, conforme coloca YIN (2001). Neste sentido, a coleta de dados realizada em canteiro, pela observação direta, teve como objetivo caracterizar as atividades realizadas pelos operários, sendo estas validadas pelas fotografias no local do estudo de caso. Os elementos de análise integrantes da matriz são descritos a seguir:

- a) elementos de análise dos processos produtivos pertinentes aos sistemas construtivos enfocados na Nova Teoria da Produção *Lean Construction*, por estabelecer um padrão de análise atualizado e bastante adequado para a aplicação em sistemas construtivos híbridos ou industrializados;
- b) elementos de análise dos produtos pertinentes aos sistemas construtivos, sob o conceito de desempenho, com atenção dada às atuais Normas Brasileiras de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos e seus métodos de avaliação, muito embora este conjunto de normas esteja em fase de adequação, suas diretrizes condizem com a tendência mundial em termos de exigências e padronizações;
- c) entrevistas direcionadas com fabricantes e executores intervenientes no processo de produção, buscando recursos como planilhas de controle, questionários, relatórios de obra, cronogramas físicos, projetos, entre outros.

4.3.3 Etapa de aplicação e interpretação

A terceira etapa refere-se à aplicação da matriz em um estudo de caso com a interpretação e análise de resultados gerados pela ferramenta especificamente elaborada, para possibilitar o cruzamento de dados de processos e desempenhos das tecnologias, com o intuito de testar a validade de aplicação para os elementos escolhidos em compor a análise dos sistemas construtivos, frente às particularidades intrínsecas de cada tecnologia.

A interpretação dos resultados obtidos com o cruzamento de dados da ferramenta terá característica qualitativa de análise requerendo percepção e conhecimento do avaliador, pois permeia o plano conceitual com atribuições de valor particulares. Os resultados da aplicação das matrizes estão enumerados no apêndice A.

A matriz possibilita a visualização das vantagens e desvantagens de cada sistema, para cada característica de processo eleita previamente, oferecendo elementos de análise sistemática suficientes para estabelecer a comparação das tecnologias, identificando os requisitos satisfatórios, os requisitos não satisfatórios, os que não se aplicam ao caso estudado e quando faltam informações para analisá-los em cada sistema.

4.4 TÉCNICAS E FERRAMENTAS ADOTADAS

Para a realização deste trabalho foi reunido um conjunto de técnicas de coleta de informações e empregados métodos de avaliação como forma de se estabelecer evidências necessárias para responder as questões da pesquisa. A revisão bibliográfica realizada no capítulo 2 e 3 serviram de referencial para a montagem das entrevistas direcionadas com fabricantes e intervenientes no processo de produção. Estas entrevistas utilizaram recursos como questionários, planilhas de controle, listas de verificação das atividades, cronogramas físicos, relatórios de obra, projetos, entre outros. Como forma de coleta de dados utilizou-se a observação direta e o registro fotográfico, para corroborar informações obtidas de outras fontes, em cada etapa do processo a ser processado e analisado. No apêndice B é apresentado modelo de entrevista aplicado ao executor de ambos os sistemas construtivos.

No próximo item se apresentam as técnicas e ferramentas específicas adotadas na análise de processos de produção.

4.4.1 Técnicas e ferramentas para Processos de produção

As técnicas e ferramentas selecionadas para o mapeamento, análise e simulação de processos pertencentes às tecnologias para o estudo de caso visam atender aos princípios e critérios estudados no capítulo 2.

A construção desta Teoria, ao longo de décadas, teve como base o Sistema Toyota de Produção, sendo aperfeiçoada pela agregação de novos conceitos e práticas nos últimos anos, além da presença do pesquisador na *10th Conference of International Group for Lean*

Construction, realizada em 2002, na cidade de Gramado, assim como, reuniões estabelecidas com especialistas a respeito da nova tendência mundial colaboraram na confirmação e busca desta linha de análise. Portanto, foi considerado adequado para o desenvolvimento deste trabalho seguir as doutrinas apresentadas pela *Lean Construction*, relativamente aos processos produtivos envolvidos nos sistemas construtivos.

O novo paradigma da produção direcionado para a construção civil representa atualmente um conjunto de diretrizes adequadas às necessidades de mercado, como: rapidez, economia, redução do desperdício, adequação aos requisitos do cliente, conformidade às normas, padronização, racionalidade, operacionalidade, entre outras características fundamentais e necessárias aos sistemas construtivos modernos dentro do contexto competitivo global atual. Sendo assim, foram utilizados os princípios apresentados pelo trabalho de Koskela (1992) apresentados no capítulo 2, como base de análise para o trabalho, no tocante aos processos produtivos.

A partir da eleição destes princípios como referencial de análise, estabeleceu-se como base metodológica a linha utilizada pelo método de San Martin (1999), que apresenta as necessidades para a gestão de processos em tecnologias de edificação, segundo os conceitos relativos à construção enxuta transformados em critérios. Estes critérios estão embasados em técnicas de coleta que, por vezes são de aplicação exaustiva, requerendo medições e quantificações *in loco* ao longo de todo processo, o que foge das limitações do presente trabalho. Neste sentido, alguns dos critérios apresentados por San Martin (1999) foram deixados fora da listagem adotada, enquanto que outros foram adicionados por adaptação direta dos princípios da construção enxuta.

Os requisitos utilizados nesta ferramenta de análise adotam critérios apenas qualitativos, pois a intenção é de possibilitar a compreensão dos processos pela forma como são feitos e não de medir produtividade ou grau de eficiência destes, visto que a intenção deste trabalho é de oferecer elementos de análise preliminar de utilização rápida e simplificada, para que seu uso sirva o propósito de abastecer o pesquisador com conhecimentos suficientes para julgar uma tecnologia mais adequada que outra. Neste sentido, adaptou-se uma seqüência de critérios dos processos intrínsecos da tecnologia a ser estudada, explicitada no item 4.4.1.1, para compor a matriz apresentada no item 4.5, conjuntamente com a listagem de requisitos e critérios de desempenho de materiais, descrita no item 4.4.2.2

4.4.1.1 Requisitos e critérios adotados para processos

- a) **Redução de estoque**– este critério considera a redução da parcela de atividades que não agregam valor ao produto final, sendo consideradas como perdas toda atividade resultante dos fluxos de materiais e pessoal, que seja considerada excedente ao estritamente necessário para completar a tarefa. A medição do critério é feita de forma qualitativa por observação do pesquisador, registros fotográficos em canteiro, consulta ao cronograma físico em conjunto com o controle de recebimento de material, diagrama de precedências e estudo do layout da obra;
- b) **possibilitar um nível mais baixo de habilidade do operário** – trata-se de um requisito qualitativo que mede a possibilidade de se reduzir a qualificação média dos operários, no intuito de possibilitar a utilização de equipes polivalentes com habilidades de desenvolver operações de qualquer complexidade. O requisito é medido a partir de registros fotográficos que possibilitem ao pesquisador verificar a quantidade de operários por grau de complexidade operacional;
- c) **utilizar elementos construtivos mais leves** – o critério busca estimar o peso dos elementos empregados na obra, com vistas a verificar as condições ergonômicas de trabalho, com a consideração do emprego de máquinas inclusive. O critério tem medição qualitativa e é coletado por observação fotográfica e entrevista informal com executores;
- d) **possibilitar o fornecimento por um número menor de fornecedores** – este requisito busca a quantificação de fornecedores necessários para completar o ciclo de produção, porém, sua avaliação poderá ser feita pela análise de projeto e cronograma físico da obra de forma qualitativa, com a possibilidade da reunião de insumos por fornecedor, baseado em conhecimento prévio destes;
- e) **utilizar baixa variedade de insumos** – da mesma forma que o requisito anterior, sua avaliação será qualitativa por análise de projeto e de insumos necessários verificados por levantamento fotográfico;
- f) **não depender de materiais específicos de uma dada região** – este requisito está diretamente ligado com os insumos relevantes da tecnologia e o grau de dependência destes com fornecedores específicos de um determinado local. Busca avaliar a capacidade da tecnologia de se adaptar a diversas regiões, sendo que, pode ser medida qualitativamente através da análise de projeto, listagem de insumos e logística da região;
- g) **padronizar componentes e métodos de trabalho** – o critério implica no grau de uniformidade de seus elementos e a conseqüente aglutinação de etapas de trabalho resultante. A avaliação do critério é qualitativa e pode ser medida através do projeto ou por fotografias;
- h) **reduzir o número de etapas em obra** – o requisito apresenta o grau de pré-fabricação da tecnologia com a busca da independência, simplificação e a

transparência dos processos, o que reduz atividades que não agregam valor em canteiro, além de reduzirem o tempo de ciclo. A medição se faz por análise de projeto, diagrama de precedências e levantamento fotográfico de forma qualitativa;

- i) **reduzir o número de processos em série** – o requisito busca reduzir a interdependência de linhas de produção através da simultaneidade de processos, como forma de evitar grandes cadeias de precedências e baixa eficiência na gestão de processos. A medição pode ser feita pelo diagrama de precedência e cronograma da obra;
- j) **possibilitar a flexibilidade de composição** – o requisito implica na possibilidade da tecnologia ter capacidade de atender à demanda prevista e de ofertar opções de alterações na composição arquitetônica durante seu ciclo produtivo. A medição é feita por análise de projeto e verificação do desenvolvimento da obra por fotografias;
- k) **capturar e atingir os requisitos do cliente interno e externo** – Este requisito genérico traduz processo como gerador de valor, sendo que o mesmo somente agrega valor quando os requisitos são identificados e atendidos no momento adequado, tanto para os clientes internos em cada etapa de trabalho, quanto para o cliente final relativamente ao esperado por este. A medição se faz através do diagrama de precedências para os clientes internos, e por entrevistas ou pesquisas para o cliente final, quando isto é possível;
- l) **evitar o desperdício de materiais** – este requisito pode ser entendido como qualquer ineficiência resultante do uso de materiais, excedente ao estritamente necessário para adicionar valor no desenvolvimento do produto.

Os requisitos e critérios listados acima resumem o escopo de análise previsto para os processos intrínsecos das tecnologias, com apresentação simplificada para facilitar sua utilização. A matriz resultante está apresentada na figura 27 junto ao item 4.5. A seguir se apresentam as técnicas e ferramentas utilizadas na análise de desempenho de produtos.

4.4.2 Técnicas e ferramentas para análise de desempenho de produtos

As técnicas e ferramentas selecionadas para o mapeamento, análise e simulação do desempenho pertencente ao conjunto de materiais componentes das tecnologias eleitas para o estudo de caso, visam atender aos requisitos e critérios estudados no capítulo 3. Especial atenção é dada ao projeto de norma brasileira, recentemente elaborada pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil (COBRACON), que abriga o CB-02, pela formulação das Normas de Desempenho para Edificações com até Cinco Pavimentos, a partir de considerações feitas no

já referido capítulo, que a coloca em evidência em relação às outras, especialmente por conjugar atributos já conhecidos, direcionados para a realidade brasileira.

O projeto de norma brasileira estabelece requisitos e critérios para a segurança, através da prevenção de colapso estrutural, riscos de incêndio e choques elétricos. Estabelece requisitos e critérios para a habitabilidade, através da estanqueidade à água, conforto térmico, conforto acústico, níveis de iluminação, dimensões mínimas e organização funcional dos espaços. Estabelece requisitos e critérios de higiene e saúde, através da prevenção dos riscos de ferimentos e proliferação de microorganismos. Estabelece requisitos e critérios de durabilidade, através da vida útil requerida para a habitação e programas de manutenção. E, por fim, estabelece requisitos e critérios para adequação ambiental, através da utilização racional de insumos e redução de poluentes, como pontos a serem avaliados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

4.4.2.1 Exigências dos usuários

O Comitê Brasileiro de Construção Civil que elabora a nova Norma de Desempenho de Edificações considera as exigências do usuário, como sendo de caráter humano expressas de forma qualitativa em relação ao comportamento em uso da edificação habitacional. Além do que, pressupõe o atendimento aos requisitos e critérios da referida norma satisfazendo as exigências do usuário. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Apresenta-se no item seguinte a descrição dos requisitos, critérios e métodos que balizarão a matriz de coleta de dados para o estudo de caso, regrados pela nova norma brasileira, muito embora se anteveja a grande quantidade de exigências que esta apresenta para a nossa realidade.

4.4.2.2 Requisitos, critérios e métodos de desempenho

Novos requisitos e critérios de desempenho têm surgido atualmente alavancados pela consciência ecológica evidenciada nas últimas décadas. O conceito de sustentabilidade é um deles, esta nova necessidade do usuário se traduz em adotar sistemas construtivos que não

agridam a natureza, minimizando impactos ambientais, tanto no processo construtivo, quanto na manutenção energética de funcionamento do prédio. Um exemplo de norma que adote como exigências dos usuários esta linha conceitual é a CB-02 da ABNT, o qual subdivide os requisitos como enquadrados em três princípios básicos: o princípio da segurança, o princípio da habitabilidade e o princípio da sustentabilidade, apresentados na seqüência de exigências do usuário abaixo e utilizada como referência na elaboração da matriz deste trabalho:

a) **segurança,**

- estrutural;
- contra o fogo;
- no uso e operação;

b) **habitabilidade,**

- estanqueidade;
- conforto higrotérmico;
- conforto acústico;
- conforto lumínico;
- saúde, higiene e qualidade do ar;
- funcionalidade e acessibilidade;
- conforto tátil e antropodinâmico;

c) **sustentabilidade,**

- durabilidade;
- manutenabilidade;
- impacto ambiental.

Estas exigências do usuário, seus requisitos e critérios apresentam-se detalhados no capítulo 3 nos itens 3.3.3.1 até 3.3.3.12 na construção da ferramenta de análise foram seguidas suas recomendações e métodos. No entanto, cabe ressaltar que a seleção dos requisitos e critérios que regerão o escopo de análise da matriz deste trabalho sofrerá um enxugamento relativamente a aspectos que não caracterizarão alguma contribuição para distinguir tecnologias, como por exemplo: dimensões mínimas de ambientes, nível tolerável de ruído para interior de habitações, nível mínimo de iluminação artificial regidos por normas e códigos uniformes, isolamento com elevadores ou portas corta-fogo que não se aplicam a habitações térreas, entre outras. Esta simplificação da ferramenta proposta facilita seu

emprego sob o aspecto de não ser muito extensa e de não possuir requisitos com tendência de repetição.

De outra parte, considerando-se que a avaliação técnica do impacto gerado no meio-ambiente pelas atividades da cadeia produtiva da construção ainda está em estudo, e que no atual momento ainda não se estabeleceu critérios e métodos de avaliação relacionados à adequação ambiental, esta necessidade permanece apenas com recomendações já enumeradas no item 3.3.3.12, segundo as normas brasileiras de desempenho. No entanto, este pesquisador esboça uma tentativa de possíveis requisitos e critérios sobre o tema, a serem testados na matriz apresentada no item 4.5, seguindo a linha ideológica das recomendações oferecidas pela norma, sem a pretensão de servir como referência para a construção desta ou de ser consistente para outros trabalhos. Fica, portanto, o intuito de se contextualizar a avaliação tecnológica no ambiente em que se insere.

Para efeitos de verificação do atendimento aos critérios de desempenho, os métodos de avaliação podem valer-se de cálculos e análises qualitativas, simulações, ensaios laboratoriais, provas de carga, ou outros métodos específicos para casos particulares, conforme apregoa a nova norma brasileira de desempenho.

Independentemente da solução material adotada, a avaliação de desempenho procura analisar a adequação ao uso de uma técnica construtiva ou de um produto destinados a cumprir uma função específica. Para atingir esta finalidade e ser capaz de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do produto, nas condições de uso definidas, a avaliação de desempenho deve submeter a habitação e/ou suas partes a uma investigação sistemática sustentada por métodos consistentes. Neste sentido, a avaliação de desempenho exige o domínio sobre as diferentes exigências dos usuários nas mais diversas condições de uso, além de uma ampla base de conhecimentos científicos para cada aspecto funcional da edificação, e de seus materiais e técnicas construtivas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

O parágrafo anterior revela o grau de complexidade exigido pelo projeto de norma de desempenho, frente a uma realidade pouco alentadora para os idealizadores e empreendedores de novas tecnologias aqui no Brasil. Visto que, dificilmente se encontrará alguma tecnologia no mercado atual brasileiro que cumpra 50% das exigências alinhavadas em seu escopo,

mesmo que considerados sistemas tradicionais. Para todos efeitos, a abrangência dos requisitos selecionados da norma será testada em sua plenitude, para que se possa ter uma ponderação contextualizada em uma análise real. A matriz resultante está apresentada na figura 28.

4.5 CONSTITUIÇÃO DA MATRIZ

A matriz foi elaborada para gerar o cruzamento de dados entre duas tecnologias, contemplando a análise dos processos intrínsecos destas complementarmente aos desempenhos de seus materiais, buscando atender o objetivo de servir como base de análise comparativa entre ambas, possibilitando a visualização das vantagens ou desvantagens em cada requisito ou critério de processo e de desempenho de produto, entre ambos sistemas construtivos analisados.

A matriz apresenta para cada requisito ou critério quatro alternativas de atendimento: estar satisfatório, não estar satisfatório, não se aplica ou falta informação, sendo que, o requisito ou critério que se enquadrar em estar satisfatório subdivide-se em três classificações a serem inseridos na matriz. A classificação de ótima terá a letra “A”, a classificação de bom terá a letra “B”, a classificação de regular terá a letra “C”, assim como as alternativas de não estar satisfatório terá as letras NS, de não se aplicar terá as letras NA ou de faltar informações terá as letras FI conforme figura 27.

CLASSIFICAÇÃO		
SATISFATÓRIO	ÓTIMO	A
SATISFATÓRIO	BOM	B
SATISFATÓRIO	REGULAR	C
NÃO SATISFATÓRIO		NS
NÃO SE APLICA		NA
SATISFATÓRIO		
FALTA INFORMAÇÃO		FI

Figura 27: Quadro de classificação

A a aplicação da matriz de processos e da matriz de desempenho de produtos para cada tecnologia obtém-se o panorama conceitual resultante das análises feitas. Este representará o melhor sistema construtivo no atendimento aos requisitos propostos. No entanto, salienta-se que a falta de informações em maior escala em uma das tecnologias poderá distorcer a compreensão dos resultados. Nesses casos recomenda-se que o pesquisador proceda a equalização quantitativa dos requisitos atendidos através do corte dos que excedem a outra tecnologia.

A configuração das referidas matrizes que se encontram ilustradas nas figuras 28 a 32 compreende os elementos como: fundações, paredes portantes ou de vedação internas e externas, instalações elétricas e hidrossanitárias, cobertura, esquadrias e revestimentos, que são cruzados e analisados através de requisitos e critérios adaptados da produção enxuta e da norma brasileira de desempenho. Para melhor compreensão as matrizes estão separadas por assunto.

No item seguinte apresenta-se o desenvolvimento do estudo de caso com duas tecnologias pouco conhecidas no Brasil.

ELEMENTOS	FUNDAÇ.				ALVENAR.				INSTALAÇÃO HIDROSSAN.				INSTALAÇ. ELÉTRICA				COBERT.				ESQUADR.				REVESTIM.			
	Satisfatóri	Não	Não se	Falta	Satisfatóri	Não	Não se	Falta	Satisfatóri	Não	Não se	Falta	Satisfatóri	Não	Não se	Falta	Satisfatóri	Não	Não se	Falta	Satisfatóri	Não	Não se	Falta	Satisfatóri	Não	Não se	Falta
Reduzir estoques																												
Permite nível mais baixo de habilidade do operário																												
Utiliza elementos construtivos mais leves																												
Menor número de fornecedores																												
Menor variação de materiais																												
Não depende de fornecedores específicos																												
Padroniza os componentes e métodos																												
Reduz número de etapas em obra																												
Reduz número de processos em série																												
Possibilita flexibilidade de composição																												
Captura e atinge requisitos do cliente interno e externo																												
Evita o desperdício de materiais																												

Figura 28: Matriz A para análise de processos

REQUISITO	CRITÉRIO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSAN.				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.											
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.								
Estabilidade de resistência estrutural	Estado limite último																																				
Princípio de incêndio	Ignição em instalações elétricas Vazamentos de gás																																				
Inflamação generalizada	Propagação superficial de chamas Resistência dos elementos construtivos ao fogo																																				
Segurança utilização de imóvel	Segurança utilização dos elementos																																				
Segurança instalações	Segurança utilização das instalações																																				

Figura 29: Matriz B para análise de desempenho de materiais na visão da segurança

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSAN.				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIMENTO			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Fontes de umidade externas à edificação	Estanqueidade à água de chuva e umidade do solo																												
Fontes de umidade internas	Estanqueidade à água utilizada na operação e manutenção do imóvel																												
Condições de conforto no verão	Níveis de desempenho para as condições de verão																												
Condições de conforto no inverno	Níveis de desempenho para as condições de inverno																												
Isolação acústica de vedações externas	Isolação ao som aéreo do exterior																												

Figura 30: Matriz C para análise de desempenho de materiais na visão da habitabilidade

(parte 1)

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSAN.				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIMENTO			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.				
Isolação acústica entre ambientes	Isolação aosom aéreo por paredes internas																												
Iluminação natural	Níveis mínimos de iluminação natural																												
Contaminantes das instalações prediais	Prevenção contra contaminação da água potável																												
Adequação das instalações prediais	Adequação das instalações hidrossanitárias																												
Possibilidade de ampliação da unidade habitacion.	Ampliação de unidades evolutivas																												
Conforto tátil ergonômico	Adequação ergonômica de dispositivos																												
Adequação antropodinâmica	Força necessária para o acionamento de dispositivos																												

Figura 31: Matriz C para análise de desempenho de materiais na visão da habitabilidade (parte 2)

	ELEME- NTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇ. HIDROSAN.				INSTALAÇ. ELÉTRICA				COBERTU- RA				ESQUA- DRIA				REVES- TIMENTO			
REQUISI- TO	CRITÉ- RIO	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Vida útil das partes da construção	Prazos de garantia de componentes																												
Durabilidade dos materiais componentes	Proteção para corrosão Durabilidade das madeiras inseto/ fungo Durabilidade metais Durabilidade plásticos																												
Limpeza Manutenção	Condições limpeza manutenção componente																												
Baixo uso de recursos naturais	Racionalização consumo de recursos naturais																												
Baixo impacto ambiental	Utilização de materiais de baixo impacto ambiental																												
Gera poucos resíduos	reduz geração de resíduos em obra																												
Baixo consumo energético	Adota fontes renováveis																												

Figura 32: Matriz D para análise de desempenho de materiais na visão da sustentabilidade

4.6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso adotado neste trabalho busca contribuir com a compreensão de uma nova tecnologia emergente em nosso mercado sob o aspecto de seus processos de produção e materiais componentes, que se alinham com as tendências de industrialização da atual produção habitacional, em direção a novas alternativas de gestão de processos e em termos do emprego da matéria-prima disponível para esta finalidade. Para tanto, foram eleitos sistemas construtivos que integram perfis intertravados de PVC com injeção de concreto em seu interior. Os perfis são montados por deslizamento e possuem janelas nas faces de conexão entre si, possibilitando a interpenetração do concreto em todo interior do conjunto. Para isto, o concreto deve possuir grande fluidez e conferir a resistência necessária ao conjunto.

Os sistemas são similares, muito embora possuam diferenças nas características estruturais, formais, operacionais em montagem, entre outras. Empregam ainda elementos construtivos conhecidos e adotados em outras tecnologias a longo tempo, resultando em uma composição tecnológica híbrida que introduz um novo dispositivo para facilitar a execução do conjunto de vedação vertical.

No capítulo 5 estão descritas todas características envolvidas nos dois sistemas construtivos eleitos, segundo informações coletadas junto aos fabricantes e representantes detentores dessas tecnologias. Julgou-se necessário uma caracterização particular do componente “PVC” como elemento distinto em relação às tecnologias convencionais conhecidas. Neste sentido, o item 5.1.2 caracteriza este material como sendo o diferencial tecnológico para o estudo de caso.

O estudo de caso terá como resultante o cruzamento de dados obtidos no capítulo 5, a partir da descrição dos sistemas construtivos eleitos para este fim, com as matrizes montadas neste capítulo, contendo uma reunião de requisitos extraídos do levantamento bibliográfico feito nos capítulos 2 e 3, e a coleta de dados obtida pelo pesquisador através das técnicas, ferramentas e métodos empregados para cada situação. O estudo de caso servirá para testar a reunião dos elementos de análise selecionados e estipular o comparativo entre as duas tecnologias, suas vantagens e desvantagens, seus potenciais e carências.

O presente estudo de caso terá a finalidade de comprovar a eficácia dos elementos de análise, que compõe a matriz como ferramenta de análise simplificada. A similaridade das tecnologias

é conveniente para se testar a capacidade de distinção no atendimento de cada requisito ou critério, o que validará sua aplicabilidade.

Os elementos que compõe a matriz analisam um conjunto abrangente de peculiaridades de cada tecnologia. Os sistemas construtivos eleitos para o cruzamento com esta provavelmente não apresentarão todos os atributos necessários para o seu preenchimento total, isto já é esperado, pois ocorreria com qualquer tecnologia analisada, visto que, existe grande dificuldade por parte dos idealizadores de sistemas construtivos em testar totalmente seus produtos, por dispêndio excessivo de tempo e ônus gerado.

A coleta de dados em canteiro iniciou-se aproximadamente no meio do desenvolvimento do processo construtivo escolhido para estudo e a estratégia da pesquisa não estava ainda estruturada. Neste caso, julgou-se conveniente analisar processos e desempenho dos produtos relativamente aos sistemas construtivos em questão, a partir dos dados já coletados por levantamento fotográfico e informações obtidas por seus executores e intervenientes. Portanto, uma parcela dos dados foi coletada de forma não estruturada. Em virtude disso, optou-se por desenvolver a pesquisa sem o acompanhamento efetivo no canteiro, mas sim, valendo-se dos elementos registrados para posterior organização e cruzamento em matriz.

O estudo de caso utilizará como técnica de coleta de informações as entrevistas direcionadas com fabricantes e intervenientes no processo de produção, Estas entrevistas buscarão recursos como planilhas de controle de obra, listas de verificação das atividades, cronogramas físicos, projetos e informações diretas . Ainda, como forma de coleta de dados, utiliza-se a observação do pesquisador e o registro fotográfico, para confirmar informações obtidas de outras fontes de evidência.

5 DESCRIÇÃO DE SISTEMAS QUE UTILIZAM PERFIS DE PVC AUTO-ENCAIXÁVEIS E CONCRETO COMO PAREDES PARA HABITAÇÕES TÉRREAS.

Este capítulo apresenta a descrição de dois sistemas construtivos empregados como referenciais para o estudo de caso dos elementos de análise selecionados pela pesquisa e é dividido em três partes. A primeira apresenta as características comuns aos dois sistemas levantados, a segunda descreve as características intrínsecas do sistema “A” e a terceira parte descreve as características intrínsecas do sistema “B”.

5.1 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS BÁSICOS RELATIVOS AOS MATERIAIS E PROCESSOS COMUNS A AMBOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.

Esta primeira parte do capítulo descreve as características básicas comuns aos dois sistemas levantados, conforme apresentado a seguir.

5.1.1 Considerações iniciais

As técnicas estudadas adotam o PVC como forma e acabamento para a superfície final das alvenarias, o concreto como enchimento resistente, as barras de aço para interligações e reforços, além de eventualmente utilizar aditivos para conferir características especiais ao concreto. Nos itens seguintes serão descritas as características específicas destes elementos componentes dos sistemas.

5.1.2 PVC

Os sistemas “A” e “B” constituem-se de perfis de PVC extrudados, que encaixam-se por deslizamento, formando uma parede oca pronta para ser preenchida com concreto injetado. A partir da concretagem gera-se uma peça monolítica de concreto através da união entre os perfis pelos furos existentes entre elas. Segundo os fabricantes, os perfis de PVC, além de darem acabamento à superfície, ajudam na estruturação do conjunto, em associação com barras de aço colocadas na vertical, presas na fundação e eventualmente na horizontal, para reforços junto a vãos (SISTEMA A, 2002).

5.1.2.1 Características e Propriedades

O PVC, ou policloreto de vinila, é uma resina sintética oriunda da petroquímica, sendo o primeiro plástico a ser desenvolvido comercialmente no mundo, sendo originado a partir da junção de duas matérias-primas naturais, o sal marinho ou cloreto de sódio (NaCl) e o petróleo. (INSTITUTO DO PVC, 2001).

O PVC é inodoro ou de odor brando e quimicamente estável. Não é solúvel em água, corrosivo, explosivo ou inflamável, portanto, não ocorre reação ou decomposição com outros produtos em condições normais de temperatura e pressão. É considerado um produto atóxico, sendo inofensivo quando em contato com a pele, porém quando de sua fabricação e manuseio, cuidados especiais devem ser atendidos. Seu armazenamento deve satisfazer condições normais de temperatura, umidade, luz solar e contato com o solo. O PVC é resistente à gasolina e aos óleos minerais, porém se torna solúvel com solventes como acetona e hidrocarbonetos clorados (INSTITUTO DO PVC, 2001).

Na maioria dos produtos oriundos de PVC, como tubos e perfis, não se recomenda a aplicação com exposição superior a 60° C, o que pode gerar degradação do material. A resistência térmica em temperaturas mais altas, como 80°C a 100°C, pode ser alcançada, o que faz aumentar a densidade e o retardamento ao fogo (RODOLFO JÚNIOR et al., 2002).

O PVC rígido caracteriza-se por possuir grande resistência à penetração ou a risco à tração e ao impacto. Possui baixa inflamabilidade, baixa facilidade à ignição e peculiaridade de auto-extinção de fogo. Apresenta boa resistência à corrosão, a intempérie, à oxidação, a condução elétrica e a ataques químicos de solventes e cloretos. A moldagem dos elementos rígidos pode se dar por extrusão, injeção, calandragem, sopro, termofusão, revestimentos eletrostáticos e por fundição com soluções aquosas, como o látex (INSTITUTO DO PVC, 2001).

5.1.2.2 Formulação do PVC

O PVC é um termoplástico com baixa estabilidade térmica e alta viscosidade, por esta razão necessita de aditivos para melhorar suas características físicas e químicas, que podem variar consideravelmente, como pode ser visto na figura 33 (INSTITUTO DO PVC, 2001).

Propriedades	Testes DIN ou UL	Rígido	Flexível	Plastisol
FÍSICAS				
Peso específico (g/cm ³)	D(53479)	1,30-1,58	1,20-1,70	1,20-1,70
Absorção de água (%) (24h, 3mm de espessura)	D(53473)	0,04-0,40	0,16-0,75	0,10-0,80
MECÂNICAS				
Resistência à tração (102 Kgf / cm ²)	D(53455)	4,20-5,00	11,0-25,0	1,50-5,0
Alongamento na ruptura (%)	D(53455)	40-80	200-450	200-500
Dureza Shore	D785 (ASTM)	69-85 D	50-100 A	50-75 A

Figura 33: Propriedades típicas do PVC
(INSTITUTO DO PVC, 2001)

5.1.2.3 Impactos ambientais

A manutenção dos recursos não renováveis implica diretamente na mudança de postura quanto a escolha de novas tecnologias. Utilizar materiais duráveis de baixa manutenção e

encontrados na região, com propósito de baixar consumo de energia e passíveis de reciclagem são aspectos perseguidos (CARLO e KRONKA, 2001).

A iniciativa de aproveitar os resíduos tem despertado a atenção mundial não só pelo aspecto econômico de minimizar custos, mas também, por enquadrar-se na tendência de minorar impactos ambientais sob o enfoque da sustentabilidade do planeta. A reciclagem é um processo de transformação de materiais com o objetivo de viabilizar a sua recuperação, oriundos do rejeito do processo industrial ou de pós-consumo (RODOLFO JÚNIOR et al., 2002).

O PVC, segundo o Instituto do PVC (2001), é um material 100% reciclável, que necessita para isto apenas 5% da energia gasta com a produção de resina virgem. Este produto possui baixa energia embutida 78 MJ/kg, se comparado ao processamento do alumínio, que tem 146 MJ por kg produzido. A procedência dos resíduos para a reciclagem é de grande importante para estabelecer-se o processo de reciclagem mais indicado.

5.1.3 Concreto

Um dos materiais componentes nos sistemas “A” e “B” é o concreto que é injetado no interior dos perfis de PVC com a finalidade de preenchimento dos vazios e geração de resistências ao conjunto. O concreto armado surgiu no início do século XX como material eterno, o que ao longo dos anos não foi confirmado.¹³

De acordo com recomendações dos sistemas “A” e “B”, o concreto necessita satisfazer algumas condições para desempenhar sua função estrutural adequadamente, como possuir traço de 20 MPa em 28 dias para os casos em geral e 25 MPa também em 28 dias para zonas que alcançam temperaturas abaixo de zero grau centígrado. Deve apresentar agregado graúdo de diâmetro máximo de 10 mm e abatimento mínimo de 115 mm no ponto de descarga. O concreto quando é lançado não pode segregar, onde a atenção ao controle do traço deve ser rigorosa. Normalmente este tipo de concreto plástico não necessita de vibrador mecânico. No entanto, é indicado bater com martelo de borracha nas laterais das formas quando lançado.

¹³ Informações obtidas em apostilas de aula na cadeira de “dosagem de concreto convencionais e de alta resistência” ministrada pelos professores Dr. Ruy Alberto Cremonini e Dra. Denise Dal Molin em 2002.

Estudos feitos pelo Laboratório de Engenharia, Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS buscam adequar traços de concreto e minorar custos finais, com vistas ao emprego em diversas situações de uso, para os materiais existentes em variadas regiões do Brasil, utilizando a disponibilidade local de cimentos, aditivos, adições e agregados (SILVA FILHO et al., 2002).

5.1.4 Adições e aditivos

Algumas tentativas de adições ao concreto têm sido feitas no Rio Grande do Sul como alternativas de baixar custos e minimizar impactos ambientais, como a reciclagem de restos de sola de sapato picadas incorporadas ao concreto como agregado leve e o poliestireno expandido, materiais estes que agregam leveza e melhora termo-acústico. Além da utilização de aditivos incorporadores de ar para aumentar a resistência térmica do conjunto, prevendo a redução de fck para mais de 4,0 MPa e massa específica maior de 900 kg/m³ (informação verbal).¹⁴

5.1.5 Aço

O aço adotado no processo construtivo é convencional, com apresentação em barras de diâmetros variados, conforme necessidade estrutural. Este elemento tem participação desde a fundação até o respaldo das paredes, no caso de solidarização das fundações com as paredes colocam-se barras de interligação, já para o reforço junto a aberturas e para contraventamento utilizam-se barras tanto na vertical como na horizontal (SISTEMA A, 2002).

O aço, embora tenha passado a ser utilizado na construção civil no início do século XIX com resultados extraordinários, apresenta até hoje problemas de oxidação e de resistência ao fogo, o que pode ser superado através de medidas de proteção (SERRA, 2002, p.96).

¹⁴ Informação verbal obtida de arq. Sérgio Chaves, construtor dos sistemas “A” e “B” na cidade de Canoas em entrevista realizada no final de 2003

5.1.6 Revestimentos

O acabamento dos perfis de PVC dispensa a adoção de revestimentos especiais tanto para interiores como para exteriores. Porém, a utilização de texturas aplicadas e revestimentos cerâmicos, entre outros, abrem uma possibilidade infinita de opções (SISTEMA B, 2001).

As recomendações de fabricantes para o preparo de superfície, tanto interno, quanto externo, indicam que as superfícies devam estar totalmente limpas e secas, sem qualquer sujidade como pó, óleos, graxas ou mofo. A presença de umidade interna à parede deve ser solucionada antes da aplicação do primer de base acrílica com diluição em solvente, próprio para esta finalidade. Rejuntar todas aberturas, desníveis e juntas com uma pasta resultante de uma parte de tinta elastomérica com duas partes de areia fina, aplicada com espátula e desempenadeira, até preencher perfeitamente os vãos e desníveis. Após secagem completa aplicar selador a base de elastômeros, onde pode ser utilizada a tinta de mesma natureza para o acabamento com diluição de 20% a 30% , a partir daí o substrato estará pronto para receber a textura de base acrílica, que após perfeitamente seca receberá de duas a três demãos de tinta acrílica diluída a 10% como acabamento final (RENNER, 2002).

A opção de aplicar pintura sem a utilização de texturas é também usual, seguindo a mesma seqüência apresentada, apenas descartando a massa de textura. Porém, não há garantias sobre a ocorrência de trincas e fissuras e o aspecto da parede revela a existência das juntas do perfil de PVC e possíveis deformações oriundas da concretagem (RENNER, 2002).

5.2 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS BÁSICOS RELATIVOS AOS MATERIAIS E PROCESSOS ENVOLVIDOS NO SISTEMA CONSTRUTIVO “A”

Este item aborda o funcionamento do sistema construtivo “A” de características semelhantes ao sistema construtivo “B” descrito no item 5.3, porém, com particularidades diferentes. Para melhor compreensão encontra-se dividido em três itens, onde o primeiro apresenta os materiais componentes, no segundo mostra os processos envolvidos ao longo da produção e o terceiro relata o desempenho dos materiais a partir de testes e ensaios realizados pelo fabricante.

O sistema “A” foi criado e patenteado pelo arquiteto Bernard Mc. Namara em Quebec, Canadá, que se vinculou à empresa Digigraph Systems Inc. O referido sistema está sendo utilizado, mediante licença, por empresa do segmento de produção do PVC localizada em Porto Alegre, Brasil (SISTEMA A, 2002).

5.2.1 Componentes do sistema A

Nas figuras 34 à 40 apresentam-se a montagem e os perfis de PVC componentes do sistema construtivo “A”.

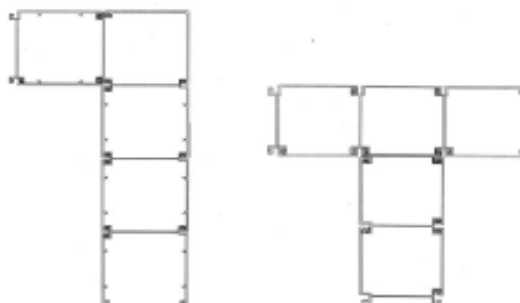


Figura 34: Montagem de perfis do sistema “A” em representação esquemática por vista superior

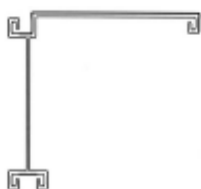


Figura 35: Detalhe do perfil principal



Figura 36: Detalhe do perfil cantoneira



Figura 37: Detalhe do perfil interno



Figura 38: Detalhe do perfil adaptador



Figura 39: Detalhe do perfil de base



Figura 40: Detalhe do perfil tampa

5.2.2 Processo construtivo do sistema A

O processo construtivo ilustrado na figura 41 envolve desde a infra-estrutura até o respaldo das paredes de PVC concluídas, independentemente do sistema de vedação superior (cobertura) a ser adotado. Este sistema emprega um conjunto de ferramentas de fixação para montagem dos perfis, especialmente desenvolvido para este fim pelo fabricante situado em Porto Alegre. Segundo o fabricante, o sistema se caracteriza por apresentar flexibilidade de adaptar-se a qualquer projeto que atenda a modulação dos perfis e possibilita a fixação de novos painéis, formando paredes adicionais sem perder suas características básicas.



Figura 41: Montagem do sistema “A”

5.2.2.1 Infra-estrutura

O processo construtivo tem seu início a partir da escolha do tipo de fundação mais adequado e viável técnica e economicamente, considerando condições de suporte para obter-se a garantia de estabilidade do conjunto. Em geral, para uso residencial as fundações são do tipo radier¹⁵, (vide figura 42), com concreto armado de acabamento vítreo e perfeitamente nivelado, para que o acabamento dos perfis no topo dos painéis prescindia de cortes de ajuste para a interface com a cobertura. O cálculo estrutural deverá levar em conta as cargas de paredes, de lajes de entrepiso ou cobertura, pressão dos ventos e cargas acidentais



Figura 42: Fundação com radier

5.2.2.2 Superestrutura

De acordo com o fabricante, assim que a laje da fundação estiver curada, procede-se a marcação da posição dos perfis base. A seguir, aplica-se duas demãos de impermeabilizante à base de elastômeros sintéticos e betumes emulsionados em faixas. Emprega-se então um perfil base com fixação feita através de parafusos junto ao piso, obedecendo esquadro nas posições onde serão feitas as futuras paredes, servindo de guia junto à base destas, como mostrado nas figuras 43 a 45.

¹⁵ Radier é um tipo de fundação que utiliza como princípio a distribuição de cargas verticais através de um plano horizontal normalmente feito em concreto armado.



Figura 43: Representação esquemática do perfil base (SISTEMA A, 2002)



Figura 44: Perfil base já fixado



Figura 45: Impermeabilização na base do perfil

Através do projeto estrutural, faz-se a locação das barras de aço que farão a ancoragem entre a fundação e as paredes. As barras são fixadas através de colagem com adesivo estrutural epóxi.

A partir daí são encaixados os perfis verticalmente, através de sistema macho-e-fêmea, com a ajuda de ferramentas apropriadas para a fixação no alinhamento e prumo, os quais servirão de forma ao concreto a ser introduzido. Este procedimento deverá ser acompanhado por plantas de coordenação modular para o exato posicionamento das peças previstas. O início da montagem se dará em um vértice da obra, mostrado na figura 46. Para dar mais estabilidade às paredes e agilidade ao processo, o fabricante recomenda fechar um ambiente por vez.



Figura 46: Montagem a partir do vértice

Durante a montagem as esperas para esquadrias são deixadas com gabaritos e perfis pré-cortados na fábrica, com as dimensões previstas em projeto, conforme figura 47, pois não sofrem cortes na obra para evitar retrabalho, desperdício de tempo e material além da geração de detritos.



Figura 47: Quadro de espera para esquadrias

Após a montagem dos perfilados procede-se o ajuste do prumo e alinhamento com travamento, através de peças metálicas com regulagens rosqueáveis, como o encontro de

paredes ilustrado na figura 48. Os perfis possuem suas laterais perfuradas, o que permite a introdução de barras de aço ou tubulações, tanto na posição vertical, quanto na horizontal, facilitando a distribuição e interligação do concreto, o que gera uma peça estruturalmente monolítica.



Figura 48: Junção de paredes

As barras de reforço horizontais e as de reforço em encontros são colocadas durante a montagem das paredes, conforme figura 49, e as de reforço vertical após, nas aberturas para janelas e portas as barras de reforço são obrigatórias, sendo que as complementares dependerão de projeto estrutural.



Figura 49: Barras de reforço

A concretagem das paredes ocorrerá em camadas de no máximo 70 cm de altura sem vibrador, para evitar a pressão exagerada nos painéis. Recomenda-se adotar um ritmo de concretagem que permita que o concreto da camada inferior tenha entrado em pega, antes de

receber uma nova camada dentro dos painéis. Na situação de haver modificação de traço para as vergas, contra-vergas e cinta de respaldo, a concretagem é interrompida no nível adequado, para proceder troca a de concreto. O sistema “A” recomenda um traço de concreto de no mínimo 4,0 MPa de resistência, com massa específica de mais de 900 Kg/m³ e abatimento maior de 15 cm para o preenchimento das paredes e de 20 MPa de resistência para os reforços. A utilização de paredes portantes, com cinta de reforço nos últimos 30 cm, permite a colocação de lajes de entrepiso ou qualquer tipo de cobertura diretamente sobre a mesma.

5.2.2.3 Sistema de coberturas

A tecnologia utilizada permite a adoção de coberturas convencionais, como lajes de concreto, estruturas de aço com telhamento variado, e forros de qualquer natureza que possuam satisfatório isolamento térmico e acústico, desde que, a fixação destes elementos seja ancorada na cinta de respaldo através de barras de aço, conforme cálculo específico. No caso empregado pelo sistema “A” a opção foi de telhas de barro como mostra a figura 50.



Figura 50: Vista geral do sistema de cobertura

5.2.2.4 Portas e janelas

Conforme o fabricante, qualquer tipo de esquadria poderá ser utilizado neste sistema, desde que seja fixada com parafusos e buchas plásticas vedadas com espuma de poliuretano

expandido para garantir a estanqüidade da união, conforme espera de porta de madeira apresentada na figura 51. No entanto, recomenda-se para uso externo a adoção das esquadrias de PVC, de acordo com o perfil para marco apresentado na figura 52, para manter a padronização do material com a mesma resistência às intempéries e não necessitarem de acabamentos adicionais.



Figura 51: Fixação de porta



Figura 52: Marco de PVC

5.2.2.5 Acabamentos

De acordo com o fabricante, o acabamento dos perfis de PVC permite que este seja utilizado tanto externamente, como internamente, sem problemas de envelhecimento por radiação solar, garantidos por 30 anos “in natura”. No entanto, existe a possibilidade de receber revestimentos como pinturas e texturas à base acrílica, com a prévia aplicação de primer à base de solventes, como apresentado na figura 53

Ensaio de arrancamento de pastilhas cerâmicas fixadas diretamente sobre as paredes de PVC do SISTEMA “A” obtiveram resultados satisfatórios, as argamassas adesivas de duas marcas conhecidas suportaram tensões entre 0,20 e 0,45 Mpa, atingindo em média tensão superior à exigida por norma de revestimentos, ou seja, acima de 0,25 Mpa, (LEME, 2002).



Figura 53: Revestimento de textura acrílica

5.2.2.6 Instalações hidrossanitárias e elétricas

As instalações sanitárias são previstas junto com a execução das fundações e deverão estar localizadas com precisão, pois uma parte das tubulações fica embutida no concreto ou abaixo dele, como mostra a figura 54. As tubulações hidráulicas são colocadas em “shafts” constituídos de perfis de PVC ou em parede hidráulica especialmente desenvolvida para este fim.



Figura 54: Tubulação de esgotos e eletrodutos

Existe uma tendência no sistema “A” quanto ao subsistema hidráulico para, além de adotar o uso de *shafts*, vide figura 55, passar a utilizar o sistema “PEX” de tubulações flexíveis e encaixe rápido embutidos em tubulação de maior diâmetro e deixadas antes da concretagem dos painéis. Este sistema permite a remoção das mangueiras de polipropileno por trecho,

fazendo sua substituição, quando necessário, com grande facilidade e rapidez (informação verbal).¹⁶



Figura 55: Instalações hidráulicas com “shaft”

As instalações elétricas e telefônicas são feitas em duas etapas distintas, a primeira com a colocação de mangueiras corrugadas presas a caixas fixadas nos painéis, apenas no sentido vertical, antes da concretagem destes. A segunda com a enfição feita convencionalmente, após as paredes tendo sido preenchidas de concreto.

De acordo com o executor do sistema “A” a agilização do processo de execução das instalações elétricas e telefônicas é maior com a adoção de chicotes industrializados, que atendam a situação dos circuitos da residência e que dispensem a necessidade de mão-de-obra especializada em sua montagem, exemplificado na figura 56 (informação verbal).¹⁷



Figura 56: Instalação elétrica

¹⁶ Informação verbal obtida de arq. Sérgio Chaves, construtor dos sistemas “A” e “B” na cidade de Canoas em entrevista realizada no final de 2003

¹⁷ Informação verbal obtida de arq. Sérgio Chaves, em entrevista realizada no final de 2003

5.2.2.7 Logística e estoques

O executor do sistema “A” utiliza lotes de produtos de PVC encomendados para a fábrica com antecedência semanal e estes são dispostos ao lado de sua utilização futura, conforme mostram as figuras 57 e 58.



Figura 57: Estoque de materiais



Figura 58: Organização de estoque

5.2.3 Desempenho

A situação de desempenho contempla testes de avaliação com o sistema “A”, a partir de um protótipo construído na av. Severo Dullius em Porto Alegre, onde se verificou a estabilidade e resistência mecânica do sistema, além do desempenho térmico e acústico, também o comportamento ao fogo e estanqueidade do conjunto (LEME, 2002 a). Serviram de base comparativa os testes realizados pelo *Centre de Recherche Industrielle du Quebec (CRIQ)*, sendo que os resultados apontados pelos testes realizados em Porto Alegre indicaram bom desempenho do sistema, considerando os requisitos mínimos estabelecidos por normas (SILVA FILHO et al., 2002).

Ensaio de envelhecimento por exposição à luz ultravioleta para perfis sem revestimento foi avaliado tomando a perda de elasticidade e alteração da resistência mecânica, tanto no PVC dos perfis do sistema “A”, quanto no PVC dos perfis do sistema “B”, concluindo-se que apresentam comportamentos semelhantes (SILVA FILHO et al., 2002).

Testes para ventos violentos, com até 250 km/h, e para abalos sísmicos para entre 7 e 8 pontos na escala Richter foram feitos no Canadá pelo *Code National du Bâtiment du Canadá* aprovando a resistência estrutural do sistema construtivo. Da mesma forma, foram aprovados em testes a resistência ao fogo e a resistência a infiltrações de água e ar pelo *Centre Canadien des Matériaux de Construction* (SISTEMA A, 2002).

5.3 DESCRIÇÃO DOS ASPECTOS BÁSICOS RELATIVOS AOS MATERIAIS E PROCESSOS ENVOLVIDOS NO SISTEMA “B”.

Este ítem aborda o funcionamento do sistema construtivo “B”, de características semelhantes ao sistema construtivo “A” apresentado no item 5.1 deste capítulo, porém como já colocado, com particularidades diferentes deste e encontra-se dividido em duas partes, onde a primeira relata o desempenho dos materiais componentes diferenciais da outra tecnologia e na segunda parte os processos envolvidos ao longo de sua produção.

5.3.1 Materiais componentes do sistema B

O sistema “B” também se constitui de perfis de PVC extrudados que se encaixam por deslizamento entre componentes, conforme figura 59, formando uma parede preenchida com concreto injetado. A partir da concretagem gera-se, igualmente ao sistema “A”, uma peça monolítica de concreto interligada horizontalmente pelos furos entre elas, conforme perfis apresentados na figura 60 e 61, reforçada com barras de aço em ambos os sentidos.

A modulação dos componentes possibilita a montagem com a inclusão de isolamento térmico em camada adicional externa composta de poliuretano, situação esta, ainda não oferecida na América do Sul. De acordo com o fabricante, o sistema reduz parcela de trabalho e de acabamentos, possibilitando a ocupação em menos tempo, comparativo ao sistema construtivo convencional. Possui grande eficiência pela brevidade da terminalidade no processo, com redução de tempo e energia em canteiro de obras e conseqüente minimização dos impactos ambientais.

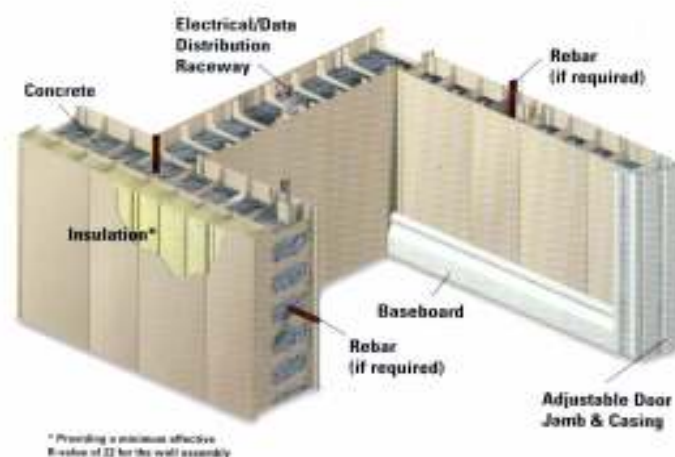


Figura 59: Perspectiva esquemática da montagem de perfis do sistema “B”

O sistema B, inventado por Vic De Zen, é uma marca registrada do *Royal Group Technologies limited*, localizado em Ontario, Canada. O Grupo possui seis fábricas localizadas no globo, a matriz no Canadá e filiais no México, Colômbia, Argentina, Polônia e China, sendo que, a fábrica da Argentina, inaugurada em 1997, está destinada a atender os parceiros do Mercosul através de exportações / importações realizadas por distribuidores e representantes espalhados por estes (SISTEMA B, 2001).



Figura 60: Perfis de PVC do sistema “B”

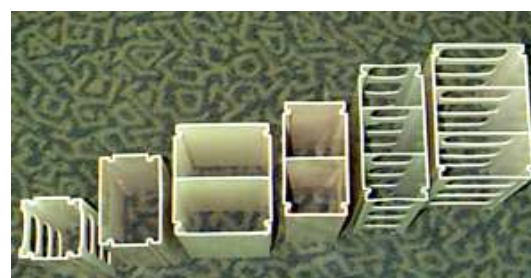


Figura 61: Perfis de PVC do sistema “B”

5.3.2 Processo construtivo

5.3.2.1 Infra-estrutura

O processo construtivo do sistema “B” assemelha-se ao já descrito pelo processo do sistema “A” no item 5.1.9. Porém, o fabricante recomenda que após o projeto arquitetônico pronto se reúnam os detalhes construtivos em uma planilha de embarque com todo material necessário inventariado para o transporte a ser realizado de uma só vez até o sítio da obra. Relativamente às fundações, recomenda-se a verificação prévia das condições das tensões admissíveis do solo e o nível do lençol freático. Para habitações térreas utiliza-se a fundação tipo radier, vide figura 62, que terá nivelamento e esquadro perfeito e cura úmida por no mínimo 7 dias. As instalações embutidas serão colocadas previamente à concretagem (SISTEMA B, 2001).



Figura 62: Armadura para radier

5.3.2.2 Superestrutura

Algumas diferenças são observadas para o sistema “B” em relação ao sistema “A”, como a falta de aplicação de impermeabilizantes na faixa de conexão entre painéis e laje de piso ou cobertura, assim como, a base dos painéis ser alinhada através de régua de madeira em ambas as faces sem a presença de perfis guias fixados ao piso, mostrado na figura 63. Outro ponto divergente é o sistema de fixação do alinhamento, prumo e esquadro, que neste sistema

utiliza travas de madeiras com escoras colocadas no topo dos painéis, conforme apresentado na figura 64. Por outro lado, a fixação de barras de aço na laje de piso através de colagem epóxi visa solidarizar esta com os painéis verticais, da mesma forma como executado no sistema “A”.



Figura 63: Gabarito de madeira



Figura 64: Travamento de perfis

A montagem dos painos de vedação se faz por deslizamento entre peças, como já colocado no item 5.2.1 e apresentado na figura 66, para após realizarem-se correções de nível, prumo e alinhamento. A recomendação do fabricante é de iniciar a montagem por um dos cantos e seguir nas duas direções até fechar o ambiente para estruturar o conjunto. A fixação dos marcos e das esperas de janelas é procedida na montagem antes da concretagem dos painéis, mostrada na figura 65, que necessitam de barras de aço de reforço em ambos sentidos, conforme o projeto estrutural.

5.3.2.3 Sistema de coberturas

Segundo o sistema, a tecnologia utilizada permite a adoção de coberturas convencionais como lajes de concreto, vide figuras 67 e 68, estruturas de aço com telhamento variado, e forros de qualquer natureza que possuam satisfatório isolamento térmico e acústico, da mesma maneira que o sistema “A”. No entanto, este sistema permite a construção em mais de um pavimento, através de contrapisos de lajes de concreto alveolar pré-moldado, sistema de laje mista, steel deck, ou outros, que permitam agilidade de execução (SISTEMA B, 2001).



Figura 65: Concretagem das paredes de PVC



Figura 66: Aplicação de perfil



Figura 67: Laje de concreto na cobertura



Figura 68: Junção de laje com paredes

5.3.2.4 Portas e janelas

O sistema recomenda a utilização de esquadrias de PVC, porém não há impedimento quanto ao uso de outro material. A fixação se faz através da aplicação de uma camada de silicone ao redor do marco e o controle da posição adequada, ilustrado nas figuras 69 , 70 e 71 abaixo.



Figura 69: Montagem da janela em PVC

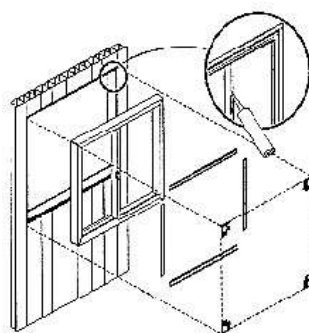
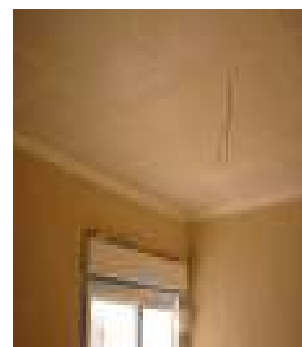


Figura 70: desenho explodido da esquadria



71: Janela de PVC instalada

5.3.2.5 Acabamentos

Esta tecnologia recomenda a utilização de “siding” vinílico como revestimento para dar acabamento às paredes internas e externas da habitação, mostrado na figura 72. Não há menção nos manuais técnicos sobre outro tipo de revestimento, cabe salientar que as peças de PVC deste sistema não apresentam acabamento natural esteticamente adequado para ficarem expostas, pois sua superfície é descontinuamente fosca.



Figura 72: Acabamento de “siding” vinílico

5.3.2.6 Instalações elétricas e hidrossanitárias

As instalações elétricas e telefônicas são feitas em duas etapas distintas. A primeira com a colocação de perfil condutor, mostrado na figura 73, que possui três possibilidades de condução e vai do ponto previsto na parede até o topo dos painéis apenas no sentido vertical e antes da concretagem destes. A segunda, com enfição feita pelas passagens do perfil condutor até a caixa elétrica prevista, que é embutida no mesmo, interligando energia, telefonia, cabo ou lógica, conforme a necessidade. Na figura 75 é mostrada uma caixa de distribuição elétrica e uma caixa de distribuição telefônica, acessadas pelo exterior da habitação, com seus condutores sendo ramificados pela cobertura (SISTEMA B, 2001).

As instalações hidrossanitárias deste sistema definem as mesmas especificações do sistema “A”, onde se tem a parte de esgotos correndo abaixo do *radier* ou contra-piso e as instalações hidráulicas se conduzindo por *shaft* com tampa ou porta de acesso, de acordo com a figura 74. Tubulações fora destas posições devem ser embutidas dentro dos painéis de PVC antes de sua concretagem, no menor trajeto possível.

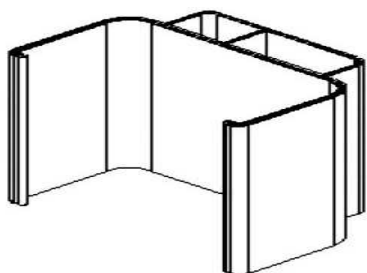


Figura 73: Perfil condutor elétrico



Figura 74: “Shaft” hidrossanitário



Figura 75: Caixas de distribuição elétrica e telefônica

5.3.2.7 Logística e estoques

O fabricante recomenda o transporte de todo material necessário de uma só vez, acompanhado de uma lista de embarque para verificação das quantidades e tipos de perfis. Na chegada ao local da obra a determinação é de dispor o material à céu aberto, em pilhas de até 1,50 m de altura para as peças grandes e manter em caixas as pequenas, sendo sua localização junto ao local de utilização, conforme ilustrado nas figuras 76 e 77.



Figura 76: Detalhe do estoque de materiais



Figura 77: Organização do estoque de materiais

5.3.3 Desempenho

Testes realizados na América do Norte mostram a capacidade do sistema de resistir a terremotos e ventos de intensidade forte, suas características possibilitam o emprego em paredes portantes, de vedação e de contenção, como arrimos ou cortinas em subsolo (SISTEMA B, 2001).

Este sistema está em acordo com as normas canadenses e encontra-se adaptado aos requisitos construtivos vigentes na Argentina através da autorização necessária para uso de sistemas novos no país (C.A.T.- Certificado de Aptidão Técnica).

Os ensaios apresentados pelo fabricante mostram atender às exigências das normas Canadenses e Americanas quanto à resistência, à umidade, aos raios ultravioletas, ao mofo, ao apodrecimento, à deformação, aos vazamentos e insetos.

Testes foram feitos em protótipo na localidade de Neuquén no Canadá para verificar o risco de condensação higrotérmica, segundo norma IRAM 11625, cálculo de transmissão térmica, de acordo com a norma IRAM 11605 (1996) e a resistência ao vento, de acordo com o CIRSOC 102. Estes testes foram realizados com painéis preenchidos de concreto adicionado com (EPS) de 650 kg/m³ (SISTEMA B, 2001).

Com relação ao sistema “B” o Laudo da Fundação COPPETEC, Certificado de Aptidão Técnica DTI 2163, Laudos Técnicos do Laboratório de Polímeros (LAPOL/RS), avalizam o sistema como tecnicamente adequado para residências térreas, de acordo com os preceitos estabelecidos nos laudos (LEME, 2002b).

6 ANÁLISE DOS SISTEMAS “A” E “B” A PARTIR DA GESTÃO DE SEUS PROCESSOS E DESEMPENHO DE SEUS MATERIAIS

Este capítulo apresenta o resultado da ferramenta simplificada de análise, elaborada no capítulo 4, a qual sintetiza em uma matriz de cruzamento de dados o escopo sobre processos pertinentes à produção e desempenho de materiais, com o estudo de caso proposto sobre dois sistemas construtivos semelhantes, que adotam perfis de PVC como fôrma e acabamento em paredes de habitações térreas.

Tratou-se a análise de forma qualitativa com a classificação, apresentando as possibilidades de: satisfatório, não satisfatório, não se aplica e falta informação, mesmo que se tenha adotado pesos dentro da classificação satisfatória com os números: 3, 2, 1, como: ótimo, bom e regular respectivamente, para aumentar o grau de especificidade da ferramenta, conforme já colocado no capítulo 4.

Inicialmente aborda-se o resultado de análise dos processos envolvidos em ambas tecnologias, a partir de informações prestadas pelos fabricantes e coleta de dados procedida pelo pesquisador, segundo técnicas já comentadas no capítulo 4, como o roteiro de entrevista utilizada para a verificação dos processos envolvidos na produção apresentado no apêndice B. Cabe observar que, em alguns elementos o pesquisador preferiu analisar as recomendações e possibilidades de emprego que o fabricante disponibiliza ao mercado, em contrapartida ao que foi efetivamente utilizado em canteiro. Na seqüência são analisados os dados disponibilizados pelos detentores das tecnologias relativamente aos testes feitos para verificação dos desempenhos de produtos componentes destas.

O procedimento adotado para análise segue a ordem de comentar cada requisito ou critério relacionado com cada elemento construtivo, com leitura horizontal, considerando o comparativo entre ambos sistemas.

6.1 ANÁLISE DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NOS SISTEMAS “A” E “B”

6.1.1 Reduzir estoque

O requisito de reduzir estoque mostra o elemento fundação como sendo uma opção ótima de utilização em ambas tecnologias, pois o uso do radier é adotado de forma idêntica no canteiro de obras onde estas são empregadas, sendo que seu material predominante é o concreto usinado, que já vem pronto em caminhões betoneira, de resto temos o aço, lona plástica e régua de borda, que não fazem volume e têm emprego rápido.

Já o elemento alvenaria, como termo genérico, aqui representa a composição diferencial mais importante das tecnologias estudadas comparativamente às tecnologias tradicionais e, para este caso, o requisito de reduzir estoque apresenta um diferencial significativo entre os sistemas construtivos, onde o sistema “A” classifica-se como ótimo por haver proximidade entre a obra e a fábrica, facilitando a redução de estoques em canteiro, conforme apregoa o *just in time* adotado pelo sistema Toyota de produção e a construção enxuta. Por outro lado, o sistema “B” possui a fábrica mais próxima na Argentina e isto implica em que os lotes de materiais venham completos, para que a produção não seja interrompida, o que gera estoques aumentando as perdas.

O subsistema hidrossanitário revela um bom resultado nas duas tecnologias que adotam projeto único e métodos de distribuição de água através do uso de *shaft*. No entanto, embora tenha sido colocada pelo construtor a intenção de emprego do sistema “Pex” de mangueiras flexíveis e engate rápido para reposição fácil das peças, isto não foi comprovado como aplicação no local da obra, sendo confirmada pelas fotos 55 e 74 a adoção do sistema de PVC soldável à cola, como justificativa econômica. Em termos de redução de estoque o sistema “Pex” superaria o sistema de PVC rígido, que faz uso de grande quantidade de conexões.

Quanto às instalações elétricas encontra-se outra diferença entre as tecnologias, no sistema “A” a recomendação é de adotar chicotes prontos de fábrica sob medida, o que diminui a quantidade de rolos de fios de diversas bitolas em obra. Já no sistema “B”, muito embora haja uma peça específica para condução dos fios, a ser embutida nos perfis, conforme mostra

figura 73, esta não foi usada por questão econômica, sendo substituída pela mangueira flexível utilizada nos dois sistemas, além de manter a adoção do sistema convencional com fios independentes.

A redução de estoques para o elemento cobertura apresenta o resultado satisfatório regular para as duas tecnologias, uma vez que estas utilizam neste estudo de caso os mesmos materiais, incluindo lajes planas pré-moldadas como forro, estruturação de telhado com perfilados galvanizados e telhas de barro convencionais como acabamento externo. Para este caso a redução de estoques em obra é modesta, pois a quantidade de telhas é a mesma em um sistema convencional, assim como, a quantidade de perfis de estruturação para a feitura de tesouras tem correlação com o madeiramento substituído, apenas as lajes em substituição ao forro e tratamentos térmicos geram uma redução de estoques por quantidade de atributos, porém estas oferecem maior volume no sítio.

No que se refere às esquadrias, a redução de estoques se apresenta boa no sistema “A” e regular no sistema “B”, uma vez que ambas adotaram os mesmos critérios neste canteiro de obras, com o uso de esquadrias externas de PVC e esquadrias internas em madeira, porém o sistema “A” indica em seus manuais técnicos a utilização de todas esquadrias em PVC, devido ao fabricante disponibilizar estas peças em sua linha de produção, o que acarretaria redução de estoques pelo mesmo motivo relatado anteriormente no elemento alvenaria.

A redução de estoques nos revestimentos mostra o sistema “A” com boa classificação satisfatória, enquanto que o sistema “B” com regular satisfação, pois ambos aplicaram externa e internamente, texturas acrílicas e tintas sobre o perfilado, neste estudo de caso. No entanto, a tecnologia “B” indica em seu manual de montagem a adoção de *siding* como revestimento de acabamento, que geraria mais estoques em obra devido à importação do *kit* completo e a conseqüente espera para aplicação.

6.1.2 Permite nível mais baixo de habilidade do operário

O requisito de permitir uma menor qualificação dos trabalhadores para a execução do elemento fundação nos dois sistemas construtivos apresenta classificação satisfatória boa, por utilizar “radier” que simplifica a compreensão por parte dos operários envolvidos, porém é

recomendado ter a presença de um oficial no momento da marcação e conferência de locações de tubulações e medidas de projeto.

Uma das grandes vantagens dos dois sistemas estudados está na possibilidade da montagem dos perfis que compõem as alvenarias serem feitas por operários pouco qualificados, onde o efeito aprendizado gerado no primeiro módulo lhes habilita a executar o restante do trabalho sozinhos, como se fosse um jogo de encaixar tipo “Lego”. Este requisito está considerado como ótimo na satisfação em ambas tecnologias, no entanto, salienta-se que a conferência de prumo, alinhamento, esquadro, travamento de painéis, fixação de barras de aço e a concretagem sempre são assistidas por oficial experiente.

Permitir um nível mais baixo de habilidade do operário em relação ao elemento instalação hidrossanitária satisfaz de forma regular o requisito nas duas tecnologias do estudo de caso, uma vez que o sistema de PVC rígido foi empregado de forma convencional, valendo-se apenas da concentração e acesso às instalações pelo uso de *shaft*, o que ainda exige boa habilitação do executor. A satisfação ótima do requisito seria atingida com a adoção de um sistema de mangueiras flexíveis com engate rápido, que não requer habilidade para a tarefa.

As instalações elétricas apresentam diferencial entre as tecnologias, tendo o sistema “A” classificação ótima por utilizar em suas habitações o sistema de chicotes industrializados, que permite sua montagem codificada por funcionários menos habilitados que um profissional eletricista, sendo este requerido apenas na instalação de componentes. Enquanto que, o sistema “B” recebe classificação regular por permanecer com enfição convencional necessitando do profissional em todo processo, exceto colocação de tubulação.

Quanto ao elemento cobertura este requisito não é satisfeito por nenhuma das duas tecnologias, pois a concepção em ambas adota a laje plana pré-moldada que exige sua colocação por guindaste com operador especializado com nível de habilidade superior ao convencional, além de utilizar perfis galvanizados na estrutura do telhado com sistema de montagem e fixação também mais qualificado.

O elemento esquadria se apresenta ótimo na classificação para atingir este requisito no sistema “A”, pois a recomendação deste fabricante é de utilizar esquadrias de PVC com aplicação direta por silicone no quadro de espera em cada painel de parede, e isto permite menor qualificação do colocador. Por outro lado, o sistema “B” satisfaz com classificação boa

apenas, pois abre o leque de utilização para qualquer tipo de esquadria, sendo que, desta forma a utilização de operário com menos habilidade fica por vezes comprometida.

Quanto aos revestimentos ambos sistemas utilizaram textura acrílica e tinta, assim como cerâmica colada, o que requer um certo grau de habilidade na execução. Para o sistema “A” foi considerado satisfatório regular o requisito, uma vez que o substrato liso facilita a aplicação e permite, de certa forma, a redução de habilidade, porém, para o sistema “B” com a recomendação do fabricante de se adotar *siding* este requisito passa a não ser atendido, pois necessitará de mão-de-obra mais especializada.

6.1.3 Utiliza elementos construtivos mais leves

Este critério aplicado ao elemento fundação apresenta ótima classificação em ambas tecnologias, não pelo peso específico da fundação como um todo, mas sim pelo peso dos materiais que devem ser manipulados diretamente pelos operários, excetuando o concreto usinado trazido pronto por caminhão betoneira.

Para o elemento alvenaria o critério de utilizar materiais mais leves fica plenamente atendido pelos dois sistemas construtivos, uma vez que o emprego dos perfis de PVC na composição das paredes se mostra como um dos grandes benefícios dessas tecnologias, comparativamente às tradicionais. Até porquê, o concreto injetado nos painéis é feito por bomba estacionária através de mangueira de pequeno diâmetro, com concreto leve.

No caso das instalações hidrossanitárias ambas tecnologias adotam sistemas de PVC rígido como componente básico, apresentando regular classificação na diminuição de peso dos elementos empregados frente a tecnologias convencionais. Caso se adotasse o sistema “Pex” de mangueiras flexíveis este critério não seria satisfatório, pois o peso de seus elementos é maior que o PVC rígido, devido ao fato das mangueiras necessitarem ser passadas por dentro de outros dutos embutidos.

Para as instalações elétricas os dois sistemas satisfazem regularmente o critério de utilizar elementos mais leves, pois adotam apenas as mangueiras flexíveis como vantagem em relação aos convencionais, que em geral usam tubulação rígida de PVC mais pesada.

No caso da cobertura o critério é atendido apenas em relação aos perfis galvanizados comparativamente à madeira, porém a adoção por ambas tecnologias, de lajes planas pré-moldadas e de telhas tradicionais de barro, tornam a classificação não satisfatória devido aos pesos excessivos dessas peças.

O critério de utilizar elementos mais leves para as esquadrias fica satisfeito de forma ótima para o sistema “A”, sendo que este recomenda ao emprego de PVC para este fim, no entanto, o sistema “B” possibilita o uso de qualquer tipo de esquadria, o que poderá aumentar seu peso, portanto sua classificação permanece como boa no atingir o critério.

Para os revestimentos temos outro disparate entre as tecnologias, no sistema “A” a adoção de textura acrílica com tinta e cerâmica colada, colocam sua classificação como apenas boa, enquanto que o sistema “B” sugere a utilização de *siding* como revestimento, elevando sua classificação para ótima no critério de diminuir pesos dos elementos.

6.1.4 Menor número de fornecedores

O requisito de utilizar menor número de fornecedores é plenamente atendido no elemento fundação em ambas tecnologias, pois adotam o sistema de *radier* que utiliza apenas dois ou três fornecedores para sua execução.

Para as alvenarias ocorre o mesmo, pois os painéis utilizam apenas o perfil de PVC, aço e concreto bombeado, estabelecendo desta maneira uma redução grande no número de fornecedores.

No caso das instalações hidrossanitárias e instalações elétricas as duas tecnologias atendem bem ao requisito, pois os componentes exigidos para estas possuem variedade limitada e são adquiridos geralmente em um único fornecedor, como em outras tecnologias convencionais.

Quanto ao elemento cobertura ambos sistemas não satisfazem o requisito de utilizar menor número de fornecedores, uma vez que necessitam ao menos três fornecedores para atender a execução desta: um para as lajes, outro para os galvanizados e um terceiro para as telhas, enquanto que em tecnologias convencionais é possível adquirir todo material em apenas um fornecedor.

Para as esquadrias o sistema "A", que recomenda a utilização do PVC para este fim satisfaz plenamente este requisito por receber o produto pronto em obra por apenas um fornecedor. Já no sistema "B" que abre a possibilidade de utilização de qualquer tipo de esquadria, como PVC, madeira ou metálica, atende bem o requisito enquanto não houver mescla de produtos diferentes na mesma obra, exigindo fornecedores diferentes.

Em relação ao elemento revestimento o sistema "A" não satisfaz este requisito, pois utiliza a mesma variabilidade de materiais como as tecnologias convencionais, onde se exige diversos fornecedores. Por outro lado, o sistema "B" fica com classificação ótima por recomendar a utilização de *siding* fornecidos pelo mesmo fabricante dos perfis.

6.1.5 Menor variação de materiais

Este requisito é plenamente atendido pelos elementos fundação e alvenaria nos dois sistemas construtivos, pois em ambas etapas da obra a variação de materiais empregados é muito restrita, resumindo-se a três materiais cada.

Quanto às instalações hidrossanitárias o sistema "A" satisfaz de forma regular o requisito por apresentar a recomendação de utilização do sistema de mangueiras flexíveis em composição com dutos fixos embutidos para a passagem destas, isto elevaria a variação dos materiais, mesmo que, no levantamento fotográfico se percebe o emprego do sistema convencional de PVC rígido para esta, assim como para a outra tecnologia. O sistema "B" mantém o emprego apenas do PVC rígido, portanto, o requisito fica bem atendido para esta.

Para os elementos de instalação elétrica e cobertura os dois sistemas atendem bem à classificação de satisfatório, pois adotam reduzido número diferencial de materiais.

A menor variação de materiais é satisfeita de maneira ótima pelo elemento esquadria no sistema "A", por recomendar a utilização apenas do PVC, enquanto que o sistema "B" possibilita maior variação nesta e, portanto, atende de forma regular o requisito.

O contrário ocorre em relação ao revestimento, onde o sistema "B" é quem satisfaz de forma ótima o requisito por considerar o uso de *siding*, embora nesta obra não tenha sido

empregado, enquanto que a variação de materiais adotados no sistema “A” seja grande, resultando em uma classificação apenas regular de atendimento.

6.1.6 Não depende de fornecedores específicos

Ambas tecnologias satisfazem bem este requisito para o elemento fundação, pois a utilização de *radier* emprega materiais de uso corrente no mercado e encontrado em diversos fornecedores.

Quanto ao elemento alvenaria não se pode dizer o mesmo, uma vez que nos dois sistemas é empregado o perfil de PVC encontrado apenas em fornecedores específicos e únicos em cada um dos casos, portanto, o requisito não é satisfeito.

O sistema “B” atende bem ao requisito de não depender de fornecedores específicos para o elemento hidrossanitário, por adotar materiais vastamente encontrados no mercado, por outro lado, o sistema “A” satisfaz de forma regular, visto que, se forem adotadas mangueiras flexíveis de encaixe rápido, este sistema passará a depender de um só fornecedor da tecnologia, pois esta ainda não se encontra difundida em nosso mercado.

O elemento instalação elétrica apresenta regular atendimento para o sistema “A” devido a este utilizar chicotes disponibilizados ainda por poucos fornecedores em nosso mercado. O requisito é totalmente atingido pelo sistema “B”, considerando que os materiais elétricos convencionais são encontrados facilmente em diversos fornecedores.

Para a cobertura os dois sistemas ficam com a classificação regular por utilizar dois materiais de fornecimento um pouco mais restrito, ou seja, as lajes planas pré-moldadas e os perfis galvanizados.

No caso das esquadrias o requisito é bem atendido pela tecnologia “B”, por esta abrir a possibilidade de emprego de diversos tipos de materiais para este elemento, conseqüentemente diversificando o conjunto de fornecedores disponíveis. Para a tecnologia “A”, que recomenda a utilização do PVC, o requisito não é atendido, pois a dependência do mesmo fornecedor dos perfis é grande, através de peças de adaptação fornecidas por este, adequadas às suas esquadrias apenas.

O requisito de não depender de fornecedor específico é satisfeito plenamente pelo revestimento empregado através do sistema “A”, pois a variedade de fornecedores oferecidos está diretamente ligada com a gama de opções de uso de materiais. Já o sistema “B” não satisfaz este requisito porque a indicação de aplicação de *siding* induz a uma exclusividade de fornecimento por parte do mesmo fabricante dos perfis devido a padrões próprios de medidas.

6.1.7 Padronizar os componentes e métodos

O critério de padronizar componentes e métodos de trabalho satisfaz de maneira plena os elementos: fundação, alvenaria e instalação hidrossanitária, para ambos sistemas construtivos, por utilizar sempre o mesmo conjunto de materiais e ser montado da mesma maneira em todas unidades.

Com relação ao elemento instalações elétricas os dois sistemas satisfazem bem o critério, uma vez que a tecnologia “A” adota a padronização com o sistema de chicotes industrializados para facilitar o processo de enfição e, por outro lado, a tecnologia “B” apresenta uma calha embutida para passagem do cabeamento como peça componente da montagem dos perfis de PVC.

O elemento cobertura padroniza componentes e métodos de forma bem satisfatória, utilizando apenas três produtos com a mesma sistemática de montagem em ambas tecnologias.

Para o caso das esquadrias o sistema “A” tem resultado ótimo no atendimento do requisito, pois padroniza o componente como sendo de PVC unicamente, enquanto que o sistema “B” possibilita a variação deste elemento, portanto, não satisfazendo este critério.

No revestimento a discrepância no atendimento do critério é grande, sendo que o sistema “A” não o satisfaz por possibilitar a utilização de qualquer material como acabamento, onde, por outro lado, o sistema “B” padroniza o revestimento *siding* como componente a ser adotado com seu método de fixação específico, portanto, atende plenamente o critério.

6.1.8 Reduz número de etapas em obra

As fundações do tipo *radier* apresentam grande redução nas etapas em obra se comparadas com outras, neste caso as duas tecnologias satisfazem otimamente o requisito.

O elemento alvenaria apresenta pequena variação no atendimento deste requisito entre os sistemas analisados, pois ambos têm suas peças de composição pré-fabricadas fora do canteiro. No sistema “B” a forma de encaixe entre peças se dá facilmente e a rigidez do painel constituído é muito boa, o que reduz etapas de travamento para o conjunto, conferindo atendimento pleno do requisito. Para o sistema “A” o número de peças a serem encaixadas para formarem a mesma dimensão de painel é muito maior, além do que, o encaixe possui dimensões exíguas o que dificulta o acerto inicial das peças pelo montador, o resultado é um painel mais flexível com maior número de vinculações, gerando etapas de travamento complementar para dar estabilidade ao conjunto, portanto, o atendimento é apenas bom para esta tecnologia.

Nos dois sistemas o requisito de reduzir etapas em obra para instalações hidrossanitárias satisfaz com classificação boa, pois ambos adotam a mesma sistemática do PVC rígido. Este requisito seria melhor atendido se houvesse o emprego efetivo do sistema de mangueiras de engate rápido, as quais reduziriam as etapas de corte, ajuste e colagem de peças.

Nas instalações elétricas o sistema “A”, com a adoção de chicotes elétricos reduz otimamente as etapas em obra, enquanto que, o sistema “B” ainda utiliza o método convencional de proceder a enfição com fios de diversas bitolas separados e cortados na obra, o que não atende ao requisito.

A cobertura nos dois sistemas satisfaz bem o requisito, basicamente pelo emprego das lajes planas pré-moldadas, que chegam ao canteiro e já são colocadas diretamente sobre as alvenarias, reduzindo etapas de estruturação, aplicação de forros e isolamento térmico, enquanto que os perfis galvanizados e as telhas seguem o mesmo número de etapas de obras convencionais.

Para as esquadrias a redução de etapas em obra é plenamente satisfeita pelo sistema “A” que utiliza o produto de PVC pronto de fábrica, restando apenas a etapa de fixação em canteiro. Já

o sistema “B” permite a utilização de outros tipos de esquadria, o que poderá gerar mais etapas em obra, neste caso o requisito é apenas satisfeito com classificação boa.

Com relação ao elemento revestimento a redução de etapas em obra não é satisfeita pelo sistema “A”, uma vez que adota produtos de aplicação convencional, como a cerâmica colada, que requer rejunte, a textura acrílica que requer aplicação de *primer*. Por outro lado, o sistema “B” atende bem o requisito, pois a utilização de *siding* reduz a uma etapa de aplicação apenas.

6.1.9 Reduzir número de processos em série

O requisito de reduzir o número de processos em série implica em as tecnologias apresentarem a característica de montagem por linhas de produção paralelas e independentes, isto é, atendido de forma regular por ambos sistemas para o elemento fundação, pois as cadeias de precedência existem, porém são pequenas.

Para a alvenaria o requisito é plenamente atendido pelos dois sistemas, pois a montagem dos painéis pode ser executada, enquanto que outras atividades estão sendo feitas paralelamente, sem uma depender da outra.

No caso das instalações hidrossanitárias a redução dos processos em série é bem atendida em ambos sistemas construtivos com a adoção do PVC rígido, no entanto, haveria plena satisfação do requisito se fosse utilizado o sistema “Pex” de mangueiras flexíveis que elimina etapas de precedência.

Quanto às instalações elétricas o sistema “A” satisfaz totalmente o requisito por adotar os chicotes elétricos que eliminam uma parcela de atividades em série. No sistema “B” isto não ocorre, uma vez que permanece adotando a forma de enfição convencional, portanto, não atende o requisito.

O elemento cobertura apresenta-se com regular classificação na satisfação do requisito para ambos sistemas, visto que, a redução de processos em série se dá apenas nas atividades suprimidas relativamente ao componente laje plana, as outras operações seguem o modelo convencional.

Em relação às esquadrias o requisito é otimamente alcançado pelo sistema “A” que utiliza o módulo pronto para ser aplicado no seu local, suprimindo atividade em seqüência, enquanto que o sistema “B” necessita desenvolver atividades de precedência quando adota madeira ou metais como materiais para o componente, o que o faz atender regularmente o requisito.

No tocante aos revestimentos o requisito de reduzir processos em série para o sistema “A” não é satisfeito, porque a adoção de materiais como a cerâmica e a textura acrílica requerem operações precedentes para suas finalizações, implicando em haver processos em série. Para o sistema “B” o requisito é totalmente atendido com o uso de *siding* por não apresentar atividades precedentes à sua finalização.

6.1.10 Possibilita flexibilidade de composição do produto final

Para o elemento fundação empregado nos dois sistemas construtivos o requisito de possibilitar flexibilidade de composição é satisfeito com classificação ótima, pois o *radier* permite qualquer conformação sobre si, além de já servir de contra-piso final para a obra, desde que previsto no projeto de cálculo estrutural.

Quanto à alvenaria o sistema “A” permite boa flexibilidade de composição com seu módulo de 10 cm, porém não possibilita a execução de curvas e ângulos. No caso do sistema “B” a disponibilidade de uma peça específica para ângulos de 45° lhe confere maior flexibilidade de arranjos na planta arquitetônica, portanto satisfaz otimamente o requisito. Para ambas tecnologias é possível alterar *lay-out* antes da concretagem.

As instalações hidrossanitárias conferem para os dois sistemas boa classificação na satisfação do requisito com o uso do PVC rígido soldável como componente básico. Este oferece flexibilidade até o momento da colagem, no entanto, este atendimento poderia ser aperfeiçoado com a adoção do sistema de mangueiras flexíveis que possibilitariam alterações posteriores à sua instalação.

O elemento instalação elétrica atende de forma regular o requisito para ambos sistemas, pois após os painéis serem concretados não oferece mais alterações de posicionamento nas paredes.

A composição de cobertura adotada pelas duas tecnologias permite flexibilizações até o ponto em que a estrutura de perfis galvanizados não foi montada, no caso de utilização da mesma telha. Por outro lado, o elemento de acabamento ainda terá liberdade de escolha até sua colocação. Sendo assim ambos sistemas satisfazem bem o requisito.

Quanto às esquadrias a tecnologia “A” apresenta regular possibilidade de composição, por estar atrelada aos modelos destas disponibilizados pelo fabricante. Neste aspecto, o sistema “B” se comporta melhor no atendimento do requisito, pois abre a possibilidade de escolha por parte do cliente até o momento de sua colocação.

Para o revestimento este requisito é satisfeito com classificação ótima no sistema “A”, uma vez que a liberdade de escolha do material a ser empregado permanece ampla até sua aplicação sobre os painéis de parede. No sistema “B” a flexibilidade de composição fica mais restrita por apresentar limitação de escolha dos *siding* oferecidos pelo fabricante, por isso, o atendimento do requisito tem classificação regular neste caso.

6.1.11 Captura e atinge requisitos do cliente interno e externo

Este requisito implica em gerar valor ao processo em todas suas etapas, assim como na composição final do produto. Para os elementos: fundação, alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica e cobertura o requisito é atendido plenamente, pois agrega valor de forma ampla ao processo, uma vez que atende em cada etapa as necessidades dos clientes internos, visando a satisfação do cliente externo.

Com relação á esquadria o sistema “A” satisfaz de forma ótima este requisito, adotando o elemento em PVC por não causar descompasso de atividades precedentes ou posteriores aos processos, além do ótimo acabamento e durabilidade de uma esquadria de PVC. Para o sistema “B” o requisito é atendido de forma boa, pois a possibilidade de utilização de outros materiais poderá gerar desajustes e causar esperas no processo.

Para o revestimento o sistema “A” poderá gerar dependência e espera entre etapas, com a adoção de materiais diversos, por este motivo satisfaz apenas de forma boa o requisito. Por

outro lado, o sistema “B” atinge de forma ótima os requisitos dos clientes internos, por não gerar dependências entre etapas.

6.1.12 Evita o desperdício de materiais

Este requisito resume as possíveis perdas de materiais geradas em canteiro e é satisfeito plenamente para os elementos: fundação, alvenaria e cobertura em ambos sistemas construtivos, uma vez que a adoção de *radier*, perfis de PVC como fôrma para paredes e lajes pré-moldadas eliminam totalmente o desperdício de materiais.

Ambos sistemas construtivos adotam a tecnologia do PVC rígido soldado, que gera desperdício de material nos cortes efetuados. O emprego do sistema de mangueiras flexíveis não acarretaria esta perda. No entanto, os sistemas foram considerados satisfatórios com classificação boa para este elemento.

No que se refere às instalações elétricas o sistema “A” atende otimamente o requisito de evitar o desperdício de materiais, pois racionaliza a utilização dos fios condutores com o uso de chicotes. Enquanto que, o sistema “B” segue o procedimento de enfição convencional, podendo gerar excedentes ou falta de determinadas bitolas, portanto seu atendimento é apenas bom para o requisito

Para esquadrias o sistema “A” atinge plenamente o requisito, uma vez que com o emprego de esquadria feita pelo mesmo fabricante dos perfis garante a adequação entre as peças, reduzindo a zero o desperdício na obra. Já o sistema “B”, que permite a adoção de outros tipos de esquadrias, abre a possibilidade de gerar algum desperdício de material, por isso seu atendimento ao requisito fica com classificação bom.

Com relação ao revestimento empregado em paredes o sistema “A” não satisfaz o requisito de evitar o desperdício de materiais, pois possibilita o emprego de diversos tipos de acabamentos, sendo que estes possuem processos com grande variabilidade, permitindo a perda. Enquanto que, o sistema “B” por adotar os *siding* como acabamento preenche totalmente o requisito.

6.2 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS ENVOLVIDOS NOS SISTEMAS “A” E “B”

6.2.1 Estado limite último

Este critério pertencente ao requisito de estabilidade estrutural somente é revelado por ambos fabricantes quanto ao elemento alvenaria, que nos testes apresentados foi satisfeito com classificação boa de atendimento em ambas. Os elementos com falta de informação foram: fundação, cobertura e revestimento, sendo que, os elementos: instalação hidrossanitária, instalação elétrica e esquadrias foram consideradas como de não aplicação para o caso.

6.2.2 Ignição em instalações elétricas e vazamentos de gás

Estes critérios seguem ao requisito de princípio de incêndio e quanto aos sistemas construtivos estudados faltou informações quanto aos elementos: alvenaria, instalação elétrica, cobertura, esquadria e revestimento, sendo que, o elemento fundação e instalação hidrossanitária forma considerados como de não aplicação.

6.2.3 Propagação superficial de chamas e resistência dos elementos construtivos ao fogo

Os critérios estão inseridos no requisito de inflamação generalizada e são bem satisfeitos pelo sistema “A” para a alvenaria, de acordo com relatório de ensaios de desempenho em protótipo realizado pelo Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da UFRGS em 2002. Quanto aos elementos: instalação elétrica, cobertura, esquadria e revestimento faltaram informações, sendo que, o elemento fundação e instalação hidrossanitária foram considerados como de não aplicação.

6.2.4 Segurança na utilização dos elementos

O critério segue o requisito de segurança na utilização do imóvel e não há informações por parte dos fabricantes sobre seu atendimento para: alvenaria, instalação elétrica, instalação hidrossanitária, esquadria e revestimento, enquanto que, o elemento fundação e cobertura foram considerados como de não aplicação neste caso.

6.2.5 Segurança na utilização das instalações

O critério está dentro do requisito de segurança das instalações e não têm informações fornecidas por parte dos sistemas sobre seu atendimento para: alvenaria, instalação elétrica, instalação hidrossanitária, esquadria e revestimento, enquanto que, o elemento fundação e cobertura foram considerados como de não aplicação.

6.2.6 Estanqueidade à água de chuva e umidade do solo

Estes critérios seguem o requisito de fontes de umidade externas à edificação e são satisfeitos com classificação boa apenas para a alvenaria, os outros elementos como: fundação, instalação elétrica, instalação hidrossanitária, cobertura, esquadria e revestimento não apresentam informações.

6.2.7 Estanqueidade à água utilizada na operação e manutenção do imóvel

Os critérios utilizados representam o requisito de fontes de umidade internas e são satisfeitos apenas pela alvenaria em ambos sistemas. No entanto, os elementos como: instalação elétrica, instalação hidrossanitária, esquadria e revestimento não apresentam informações fornecidas pelos fabricantes, embora a fundação e a cobertura sejam consideradas como de não aplicação.

6.2.8 Níveis de desempenho para as condições de verão

Este critério segue o requisito de atender as condições de conforto no verão e está satisfatoriamente bem classificado nos dois sistemas construtivos relativamente ao elemento alvenaria apenas, segundo testes e ensaios realizados em protótipos. Enquanto que, os elementos: fundação, cobertura, esquadria e revestimento não apresentam informações sobre seus desempenhos e, por outro lado, os elementos instalação elétrica e instalação hidrossanitária não se aplicam para o caso.

6.2.9 Níveis de desempenho para as condições de inverno

Este critério segue o requisito de atender as condições de conforto no inverno e está satisfatoriamente bem classificado nos dois sistemas construtivos relativamente ao elemento alvenaria apenas, da mesma forma que o item anterior. Enquanto que, os elementos: fundação, cobertura, esquadria e revestimento também não apresentam informações sobre seus desempenhos e, também os elementos instalação elétrica e instalação hidrossanitária não se aplicam para o caso.

6.2.10 Isolação ao som aéreo do exterior

O critério faz parte do requisito de isolação acústica de vedações externas e é atendido com boa classificação para alvenaria somente pela tecnologia “A” a partir de testes feitos em Porto Alegre pelo LABORATÓRIO DE ENSAIOS E MODELOS ESTRUTURAIS DA UFRGS (2002). Portanto, o elemento alvenaria para o sistema “B” e mais os elementos: cobertura, esquadria e revestimento para ambas tecnologias não apresentam informações dentro do período de levantamento efetuado, neste caso ainda, a fundação, a instalação elétrica e a instalação hidrossanitária não se aplicam.

6.2.11 Isolação ao som aéreo por paredes internas

Este critério segue o requisito de isolamento acústica entre ambientes e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: alvenaria, cobertura e revestimento, sendo que, os elementos: fundação, instalação elétrica, instalação hidrossanitária e esquadria não se aplicam ao caso.

6.2.12 Níveis mínimos de iluminação natural

O critério segue o requisito de iluminação natural e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: alvenaria, cobertura, esquadria e revestimento, sendo que, os elementos: fundação, instalação elétrica e instalação hidrossanitária não se aplicam ao caso.

6.2.13 Prevenção contra contaminação da água potável

Este critério segue o requisito de contaminação das instalações prediais e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: instalação hidrossanitária e cobertura, sendo que, os elementos: fundação, alvenaria, instalação elétrica, esquadria e revestimento não se aplicam ao caso.

6.2.14 Adequação das instalações hidrossanitárias

O critério segue o requisito de adequação das instalações prediais e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: fundação, alvenaria e cobertura, sendo que, os elementos:, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria e revestimento não se aplicam ao caso.

6.2.15 Ampliação de unidades evolutivas

Este critério segue o requisito de possibilidade de ampliação da unidade habitacional e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: fundação, alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria, cobertura e revestimento, ou seja, todos elementos.

6.2.16 Adequação ergonômica de dispositivos

O critério segue o requisito de conforto tátil e ergonômico e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria e revestimento, sendo que, os elementos: fundação e cobertura não se aplicam ao caso.

6.2.17 Força necessária para o acionamento de dispositivos

Este critério segue o requisito de adequação antropodinâmica e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica e esquadria, sendo que, os elementos: fundação, cobertura e revestimento não se aplicam ao caso.

6.2.18 Prazos de garantia de componentes

O critério segue o requisito de vida útil das partes da construção e satisfaz com ótima classificação o elemento alvenaria pela tecnologia “A” e pela tecnologia “B”. No entanto, não há informações para nenhuma das duas tecnologias sobre: fundação, instalação hidrossanitária, instalação elétrica e esquadria, cobertura e revestimento.

6.2.19 Proteção para a corrosão, durabilidade das madeiras contra inseto e fungos, durabilidade de metais e durabilidade de plásticos

Este critério segue o requisito de atender as condições de durabilidade dos materiais componentes e está satisfatoriamente bem classificado nos dois sistemas construtivos relativamente ao elemento alvenaria apenas, segundo testes apresentados pelos fabricantes. Enquanto que, os elementos: fundação, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria, cobertura, e revestimento também não apresentam informações sobre seus desempenhos.

6.2.20 Condições para limpeza e manutenção de componentes

O critério segue o requisito de limpeza e manutenção e não apresenta informações por nenhuma das duas tecnologias sobre: alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria e revestimento, sendo que, o elemento fundação não se aplica ao caso.

6.2.21 Racionaliza o consumo de recursos naturais

Este critério proposto segue o requisito também proposto de baixo uso de recursos naturais e não apresenta informações de testes feitos por nenhuma das duas tecnologias sobre o assunto para qualquer dos elementos: fundação, alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria e revestimento.

6.2.22 Utiliza materiais de baixo impacto ambiental

O critério proposto segue o requisito de baixo impacto ambiental e não apresenta informações de testes feitos por nenhuma das duas tecnologias sobre o assunto para qualquer dos elementos considerados na análise.

6.2.23 Reduz geração de resíduos em obra

Este critério proposto segue o requisito de gerar poucos resíduos e não apresenta informações de testes feitos por nenhuma das duas tecnologias sobre o assunto para qualquer dos elementos: fundação, alvenaria, instalação hidrossanitária, instalação elétrica, esquadria e revestimento.

6.2.24 Adota energia de fontes renováveis

O critério proposto segue o requisito de baixo consumo energético e não apresenta informações de testes feitos por nenhuma das duas tecnologias sobre o assunto para qualquer dos elementos analisados.

6.3 FACILIDADES, DIFICULDADES, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS “A” E “B”

As facilidades, dificuldades, vantagens e desvantagens de implementação dos sistemas estudados serão tratadas nos próximos parágrafos, sendo que, inicialmente serão abordados os processos do sistema “A”, a seguir os processos do sistema “B” e por fim as considerações sobre desempenho.

Quanto aos processos o sistema “A” apresenta algumas características diferenciais em relação ao outro, que foram observadas e identificadas pela ferramenta de análise, especialmente em relação aos elementos: alvenaria, instalações elétricas, esquadrias e revestimento, que apresentam mudanças mais significativas entre as duas tecnologias. O resultado comparativo geral das classificações por itens relativamente aos processos envolvidos mostrou que o sistema “A” apresenta o somatório conceitual mais elevado comparativamente ao sistema “B”. Porém, a análise detalhada revela grandes diferenças entre as tecnologias em diversos itens, de acordo com matrizes ilustradas no apêndice 1 e descrição a seguir. Neste sentido, a habilidade do pesquisador é muito importante, além de ser fundamental a aplicação pelo mesmo para os dois levantamentos.

Para as alvenarias o sistema de encaixe das peças de PVC no sistema “A” não favorece a agilidade de montagem em canteiro se comparado com o sistema “B”, devido às pequenas dimensões dos perfis e número de componentes para formar o painel. Isto também desfavorece a rigidez do painel antes do travamento e concretagem. A modulação permite dimensões múltiplas de 10 cm, no entanto não há disponibilidade de peças para ângulos e curvas, o que limita a flexibilidade de projeto. O material fundamental do sistema é o PVC que só pode ser distribuído pelo único fabricante instalado no Brasil, sendo portanto, o sistema totalmente dependente de um fornecedor específico.

Nas instalações elétricas o aspecto mais relevante a favor do sistema “A” é a adoção dos chicotes elétricos, que elimina etapas operacionais e atividades de fluxo não subtraídas no sistema “B”, com a manutenção da sistemática tradicional de enfição. Por outro lado, esta modernização esbarra ainda no pequeno número de fornecedores disponíveis no mercado.

As esquadrias adotadas são de PVC e fornecidas pelo mesmo fabricante dos perfis que formam as paredes. Isto revela diversas vantagens em termos de estoque, espera, processamento e ajustes, no entanto, permanece a fragilidade do sistema em depender de fornecedor específico.

Com relação aos revestimentos o sistema “A” apresenta a vantagem de possibilitar uma gama de variações em acabamentos para atingir a satisfação do cliente final. No entanto, seu leque de opções não confere ao sistema a oportunidade de reduzir a habilidade dos aplicadores, nem reduzir o número de fornecedores, tampouco diminuir a variabilidade dos materiais empregados e evitar o desperdício de material. Esta opção mantém o número de etapas em obra e não favorece a redução dos processos em série, que são princípios perseguidos pela produção enxuta.

Para o sistema “B” os elementos a serem abordados para processos serão os mesmos do sistema anterior em função de os motivos serem também os mesmos, ou seja: alvenaria, instalações elétricas, esquadrias e revestimentos.

A alvenaria formada pelo sistema “B” através de perfis de PVC mais robustos e de dimensões maiores que os do outro sistema lhe conferem vantagens na agilidade de montagem, na rigidez dos painéis e na forma de travamento necessária. Por outro lado, o grande revés do sistema está na distância de fornecimento para quem utilizá-lo no Brasil, uma vez que a

fábrica mais próxima localiza-se na Argentina, gerando problemas como os causados por perdas por estocagem prolongada, dependência de fornecedor específico de região distante e custos de importação alfandegários e de transporte.

Para as instalações elétricas o sistema “B” apresenta apenas a vantagem de oferecer dutos pré-moldados em PVC adaptáveis aos perfis de parede e embutidos antes da concretagem. Porém, a adoção de enfição elétrica convencional se apresenta como um atraso no sistema, uma vez que assim foi empregado no canteiro de obras de referência.

No caso das esquadrias, este sistema adotou como opção de logística os produtos de outros fornecedores com dois materiais de composição, o PVC e a madeira. A opção gera aumento de estoques, aumento do número de fornecedores, aumento da variabilidade e a falta de padronização para materiais e métodos de aplicação, ou seja, desvantagens para o sistema.

Para os revestimentos, o sistema “B” inova com a oferta de *siding*, elemento pouco conhecido no Brasil, que traz a agilidade de montagem, a padronização de processos e materiais, a eliminação do desperdício, a redução de processos em série, entre outras vantagens. Por outro lado, o elemento implica em gerar estoque por depender de fornecedor específico de região distante, reduz a flexibilidade de composição e não permite redução na habilidade do aplicador.

Relativamente ao desempenho dos materiais adotados nas duas tecnologias, os aspectos relevantes informados pelos fabricantes são descritos nos próximos parágrafos.

Atendendo ao princípio de segurança ambos sistemas construtivos apresentam testes com resultados satisfatórios para o critério de estado limite último. Porém, ainda relativamente a este princípio, apenas o sistema “A” forneceu laudo sobre a propagação superficial de chamas e resistência dos elementos ao fogo.

Quanto ao princípio de habitabilidade os dois sistemas atendem satisfatoriamente bem os requisitos de estanqueidade à água provocada por chuva e umidade do solo, estanqueidade à água oriunda de operações e manutenção da habitação e desempenho térmico em relação ao verão e inverno. No entanto, o requisito de isolamento acústico só foi atendido pelo sistema “A” com a adoção de painéis de 100 mm para paredes externas e painéis de 75 mm para as internas.

Para o princípio de sustentabilidade ambos fabricantes atendem otimamente em dois requisitos, o de vida útil através de prazos de garantia de seu produto e o de durabilidade dos plásticos, no caso o PVC, que é apresentado por ambos com testes e ensaios.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho limitou-se a elaborar uma ferramenta de utilização simplificada direcionada para habitações térreas, no intuito de auxiliar os especificadores e gestores da produção na seleção de tecnologias disponíveis. O conjunto de elementos de análise eleito compõe uma seleção de critérios e requisitos para processos envolvidos, juntamente com uma seleção para o desempenho dos materiais componentes, buscando possibilitar a compreensão sistêmica da opção e servindo como uma primeira base de informações técnicas voltadas para o emprego profissional. Sendo assim, entende-se ter sido alcançado os objetivos propostos pela linha de raciocínio estipulada.

A aplicabilidade da ferramenta no contexto comparativo do estudo de caso entre dois sistemas construtivos semelhantes, que adotam perfis de PVC como fôrma e acabamento, se mostrou bastante eficiente em identificar pequenas particularidades aparentemente não existentes, o que lhe confere validade de utilização.

A descrição dos sistemas construtivos selecionados para o estudo de caso, que mostrou a caracterização dos processos e materiais envolvidos, segundo informações obtidas dos próprios fabricantes, se apresentou superficial e com limitação de acesso a informações relevantes para possibilitar melhor embasamento a uma seleção tecnológica adequada. Mesmo assim, o que foi disponibilizado no período de levantamentos serviu bem para dar consistência à análise na aplicação da ferramenta.

A abordagem de desempenho utilizada neste trabalho reuniu um conjunto de requisitos e critérios apresentados pelas novas normas brasileiras de desempenho, as quais balizaram o modelo de análise sobre o assunto. Ocorre que este escopo resulta em uma quantidade vasta de exigências por critérios e métodos de avaliação bastante específicos, que por decorrência das constatações observadas neste, excede a possibilidade de atendimento para os padrões de aplicabilidade na realidade brasileira.

O projeto de norma de desempenho apresenta-se extremamente exigente e complexa por seus requisitos, critérios e métodos de teste, os quais devem ser atendidos para satisfazer uma

análise apropriada para um determinado sistema construtivo segundo seus moldes. Neste aspecto, a obtenção de características levantadas e descritas no capítulo 5 por ambas tecnologias, não representou, sob o ponto de vista do desempenho de seus materiais, quase nenhum diferencial comparativo entre elas, pois as informações prestadas resumem-se a seis ou sete testes feitos pelas tecnologias estudadas, resultando este trabalho em uma listagem com predominância quase absoluta de “falta de informação”.

Os resultados do preenchimento das matrizes relativas a desempenho apresentam baixa preocupação por parte de ambos fabricantes, em atender uma gama mais abrangente de requisitos e critérios, o que tornaria mais completa a compreensão do comportamento dos materiais e produtos, com vistas a facilitar a seleção tecnológica para gestores da construção civil.

Os processos pertinentes a qualquer sistema construtivo estão diretamente ligados a seus materiais componentes, o que complementarmente possibilitaria uma avaliação sistêmica de conjunto, caso se tivesse acesso a maior número de informações na linha do desempenho dos produtos.

Neste aspecto, o estudo de caso apresentou claramente o panorama sobre o grau de dificuldade que um avaliador ou especificador de tecnologia encontra para atender as exigências requeridas por uma ferramenta de utilização simples, composta de duas vertentes de análise, que não se propõe a ser um método completo de seleção tecnológica, mas sim, um auxiliar na reunião de aspectos importantes de serem levantados para a tomada de decisão.

Considera-se que, a ferramenta elaborada atende os objetivos propostos, respeitando o enquadramento estabelecido pelas delimitações requeridas para um trabalho de natureza profissional. Além do que, o estudo de caso aplicado possibilitou uma crítica ao projeto de norma brasileira de desempenho quanto ao seu excessivo grau de exigência, resultante da dificuldade no atendimento de sua enorme gama de critérios, requisitos e métodos específicos.

Frente ao trabalho realizado são feitas as seguintes sugestões para novos trabalhos:

- a) seleção de critérios, requisitos e métodos com aplicabilidade objetiva e simplificada relativamente a desempenho;
- b) análise das exigências de aplicação dos requisitos, critérios e métodos sugeridos pelo projeto de norma Brasileira para desempenho;

- c) aplicação da ferramenta de análise em sistemas construtivos completamente diferentes, como forma de verificar sua eficácia;
- d) desenvolver método estatístico para a integração dos resultados referentes a processos e a desempenho de tecnologias, como aperfeiçoamento da presente ferramenta.

REFERÊNCIAS

ALARCÓN, L. **The Importance of Research to Develop Lean Construction**. In: Seminário Internacional sobre Lean Construction, 5., São Paulo, **Anais...**,1997.

ANTUNES JUNIOR, J. **Em Direção a uma Teoria Geral do Processo de Administração da Produção**: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção de sistemas de produção com estoque zero. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Administração. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos**. Projeto de Norma 02.136.01.001. Rio de Janeiro: Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 12 set. 2004, 53p.

BALLARD, G. **The Last Planner**. Northen California Construction Institute, Monterey, 1994.

BARROS, M.M.B. **Metodologia para a Implantação de Metodologias Construtivas Racionalizadas na Produção de edifícios**. São Paulo: Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

BERNARDES, M. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micros e Pequenas Empresas de Construção**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – NORIE. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. **Managing the Tree Aspects of Production in Construction**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. Proceedings... Porto Alegre: UFRGS, 2002.

BLACHÈRE, G. **Preparation of requirements and criteria**. Some examples of the application of the performance concept in building: CIB report publication 157. Rotterdam, 1993.

BONIN, L.C. **Considerações Sobre a Utilização do Conceito de Desempenho como Ferramenta para a Modernização Tecnológica na Construção Civil**. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC) - Qualidade no Processo Construtivo. Florianópolis, **Anais...**, 1998.

CARLO, U.D.; KRONKA, R.C., **Arquitetura e Desenvolvimento Verde**: Considerações sobre as Questões de Sustentabilidade, sinopses. São Paulo: n°. especial, p. 13-23, out. 2001.

CIB. 1982. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. **Working with the Performance Approach to Building**. Report of Working Commission W60, Publication 64, 30p, 1982.

CIB. 1998. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. **Development of the CIB Proactive Program on Performance Based Building Codes and Standards**, Australia: 1998.

DUARTE, R.B. **Elementos de Avaliação da Industrialização na Construção por Sistemas no Rio Grande do Sul**, Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.

FORMOSO, C.T.; DE CESARE, C.M.;LANTELME, E.M.V.; SOIBELMAN, L., **Perdas na Construção Civil: Conceitos, Classificações e Indicadores de Controle**. São Paulo: **Techne**. Ed. Pini, 23: pp.30-33, jul/ago 1996.

GARVIN, D.A. **Competing on the Eight Dimensions of Quality**. Harvard Busines Review. EUA, 1987.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 3ª edição, São Paulo: Atlas, 1996.

HOWELL, G. **What is Lean Construction**. in: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 1999, University of California. Berkeley, CA. **Proceedings...**, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), **O Déficit Habitacional Brasileiro**, Zero Hora, Porto Alegre, p.20, 13 nov.2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT), **Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social**. São Paulo, 1998.

INSTITUTO DO PVC, **Reciclagem Mecânica do Pvc: Uma Oportunidade de Negócio**, 1 CD-ROM, São Paulo: 2001.

ISO/DIS 7162. International Organization for Standardization. **Performance Standards in Building** – Contents and Format of Standards for Evaluation of Performance. [Geneve]:1984.

ISO/DIS 7164. International Organization for Standardization. **Performance Standards in Building** – Definitions and Means of Expression for the Performance of a Whole Building. [Geneve]:1985.

ISATTO, E. et al. **Lean Construction: Diretrizes e Ferramentas para o Controle de Perdas na Construção Civil**. Porto Alegre: SEBRAE-RS, 2000.

KENDALL, K.; KENDALL, J. **Analisis y Diseño de Sistemas**. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1991.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Finland: CIFE, Technical Report n° 72, 1992.

KOSKELA, L. **An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction**. Espoo 2000. Tese de Doutorado.Helsinki University of Technology, 2000.

LEME, Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da UFRGS. **Relatório de Ensaios de Desempenho do Protótipo do Sistema Casaforte Medabil com Painéis Digigraph**, relatório técnico n. 10/2002, Porto Alegre: mai. 2002a.

LEME, Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da UFRGS, **Laudo Técnico de Avaliação do Sistema Casaforte com Painéis Royal**, relatório técnico n. 04/2002, Porto Alegre: mar. 2002b.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative Data Analysis: an Expanded Sourcebook**. London: SAGE Publication, 1994.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção de Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

RENNER, Tintas, **Sistema de Pintura sobre Pvc: Garantia do Sistema**, Laudo técnico n. 289, Porto Alegre: jul. 2002.

RODOLFO JÚNIOR, A. **Tecnologia do PVC**. São Paulo: Proeditores/Braskem, 2002.

SAN MARTIN, A.P. **Método de Avaliação de Tecnologias de Edificação para Habitação de Interesse Social sob o Ponto de Vista da Gestão de Processos de Produção**. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

SANTOS, A. **Application of Production Management Flow Principles in Construction Sites**. Salford: Tese de Doutorado, Department of Quantity and Building Surveying, University of Salford, 1999.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SOARES, A. C. **Diretrizes para a Manutenção e o Aperfeiçoamento do Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

SILVA FILHO, L.C.P.; GRAEFF, A.G.; KLEIN, D. L.; CAMPAGNOLO, J.L. **Análise de um Sistema Construtivo Inovador Formado por Paredes de PVC com Concreto Leve**. Natal: In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2002.

SILVA, M.A.C. **Metodologia de Seleção Tecnológica na Produção de edificações com emprego do Conceito de Custos ao Longo da Vida Útil**. Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 1997.

SISTEMA "A". **Atualidades: Notícias**. banco de dados. Disponível em: <<http://www.medabil.com.br/index.asp?page=atualidades/noticias/noticias4.asp>>. Acesso em: 5 de set. 2002a.

SISTEMA "A" - **DIGIGRAPH Construction System**: banco de dados. Disponível em: <<http://www.digigraph-housing.com/web/sistema.htm>>. Acesso em: 6 out. 2002b.

SISTEMA "B" - **ROYAL Building Systems**, 1 CD-ROM e banco de dados. Disponível em: <<http://www.rbsdirect.com>>. Acesso em: 6 out. 2002.

SOIBELMAN, L. **As Perdas de Materiais na Construção de Edificações**: sua incidência e seu controle. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.

SOUZA, R., **Inovação Tecnológica, Desempenho e Qualidade**: Suplemento PINI, Sistemas Construtivos, São Paulo, 1987.

THOMAZ, E. **Desenvolvimento de Produtos na Construção Civil**, Anuário de Construção e Arquitetura, IPT/D Ed 130, 1987.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347 p.

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

ZENHA, R.M.; MITTIDIERI FILHO, C.V.; AMATO, F.V.; VITTORINO, F. **Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para Habitação**. Publicação IPT 2515, São Paulo: 1998.

APÊNDICE A – MATRIZES PREENCHIDAS NO ESTUDO DE CASO

MATRIZ “A” PARA ANÁLISE DE PROCESSOS
TECNOLOGIA “A”

ELEMENTOS	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSAN.				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.			
	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Reduzir estoque	A				A				B				A				C				B				B			
Permite Nível mais baixo de habilidade do operário	B				A				C				A					N	S		A				C			
Utiliza elementos construtivos mais leves	A				A				C				C					N	S		A				B			
Menor número de fornecedores	A				A				B				B					N	S		A				N	S		
Menor variação de materiais	A				A				C				B				B				A				C			
Não depende de fornecedores específicos	B				N	S			C				C				C					N	S		A			
Padroniza os componentes e métodos	A				A				A				B				B				A					N	S	
Reduz número de etapas em obra	A				B				B				A				B				A					N	S	
Reduz número de processos em série	C				A				B				A				C				A					N	S	
Possibilita flexibilidade de composição	A				B				B				C				B				C				A			
Captura e atinge requisitos do cliente interno e externo	A				A				A				A				A				A				B			
Evita o desperdício de materiais	A				A				B				A				A				A					N	S	

MATRIZ “A” PARA ANÁLISE DE PROCESSOS
TECNOLOGIA “B”

ELEMENTOS	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSAN.				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.			
	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Reduzir estoques	A				C				B				B				C				C				C			
Permite Nível mais baixo de habilidade do operário	B				A				C				B				N	S			B				N	S		
Utiliza elementos construtivos mais leves	A				A				C				C				N	S			B				A			
Menor número de fornecedores	A				A				B				B				N	S			B				A			
Menor variação de materiais	A				A				B				B				B				C				A			
Não depende de fornecedores específicos	B				N	S			B				A				C				B				N	S		
Padroniza os componentes e métodos	A				A				A				B				B				N	S			A			
Reduz número de etapas em obra	A				A				B				N	S			B				B				B			
Reduz número de processos em série	C				A				B				N	S			C				C				A			
Possibilita flexibilidade de composição	A				A				B				C				B				B				C			
Captura e atinge requisitos do cliente interno e externo	A				A				A				A				A				B				A			
Evita o desperdício de materiais	A				A				B				B				A				B				A			

MATRIZ “B” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA SEGURANÇA -
TECNOLOGIA “A”

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSAN				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIMENTO			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.				
Estabilidade resistência estrutural	Estado limite último				F	B						N	A			N	A			F	I			N	A			F	I
Princípio De incêndio	Ignição em instalações elétricas vazamento de gás			N	A				F	I		N	A			F	I			F	I			F	I			F	I
Inflamação generalizada	Propagação superficial de chamas resistência elementos construtivos ao fogo			N	A							N	A			F	I			F	I			F	I			F	I
Segurança na utilização do imóvel	Segurança na utilização dos elementos			N	A				F	I		F	I			F	I			N	A			F	I			F	I
Segurança das instalações	Segurança na utilização das instalações			N	A				F	I		F	I			F	I			N	A			F	I			F	I

MATRIZ “B” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA SEGURANÇA -
TECNOLOGIA “B”

REQUISITO	ELEMEN- TO	FUNDA- ÇÃO				ALVENARIA				INSTALA- ÇÃO HIDROSSAN				INSTALA- ÇÃO ELÉTRICA				COBERTU- RA				ESQUA- DRIA				REVESTI- MENTO					
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.		
Estabilidade resistência estrutural	Estado limite último			N	F	B						N	A							F	I			N	A					F	I
Princípio de incêndio	Ignição em instalações elétricas vazamento de gás			N	A				F	I		N	A			F	I			F	I			F	I					F	I
Inflamação generaliza- da	Propaga- ção superficial de chamas resistên- cia dos elementos construti- vos ao fogo			N	A				F	I		N	A			F	I			F	I			F	I					F	I
Segurança na utilização do imóvel	Segurança na utilização dos elementos			N	A				F	I		F	I			F	I			N	A			F	I					F	I
Segurança das instalações	Segurança na utilização das instalações			N	A				F	I		F	I			F	I			N	A			F	I					F	I

MATRIZ “C” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA HABITABILIDADE
(PARTE 1) - TECNOLOGIA “A”

REQUISITO	ELEMEN-TO	FUNDA-ÇÃO				ALVENARIA				INSTALA-ÇÃO HIDROSSAN				INSTALA-ÇÃO ELÉTRICA				COBERTU-RA				ESQUA-DRIA				REVESTI-MENTO			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.				
Fontes de unidade externas à edificação	Estanquei-dade à água de chuva e umidade do solo			F	B							F			F					F				F					
Fontes de unidade internas	Estanquei-dade água utilizada na operação manuten-ção imóvel			N	B							F			F					N				F					
Condições de desempenho no verão	Níveis de desempe-ngo para condições de verão			F	B							N			N					F				F					
Condições de desempenho no inverno	Níveis de desempe-ngo para condições de inverno			F	B							N			N					F				F					
Isolação acústica de vedações externas	Isolação ao som aéreo do exterior			N	B							N			N					F				F					

MATRIZ “C” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA HABILTABILIDADE
(PARTE 2) - TECNOLOGIA “A”

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSANITÁRIA				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIMENTO			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Isolação acústica entre ambientes	Isolação ao som aéreo por paredes internas			N A				F I				N A								F I				N A					F I
Iluminação natural	Níveis mínimos de iluminação natural			N A				F I				N A								F I				N A				F I	
Contaminantes instalações prediais	Prevenção contra contaminação água potável			N A				N A				F I								F I				N A				N A	
Adequação instalações prediais	Adequação instalações hidrossanitárias						F I					N A								F I				N A				N A	
Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	Ampliação de unidades evolutivas						F I					F I								F I				F I				F I	
Conforto tátil ergonômico	Adequação ergonômica de dispositiv.			N A				F I				F I								N A				F I				F I	
Adequação antropodinâmica	Força necessária para o acionamento de dispositiv.			N A				F I				F I								N A				F I				N A	

MATRIZ “C” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA HABILABILIDADE
(PARTE 1) - TECNOLOGIA “B”

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSANITÁRIA				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Fontes de umidade externas à edificação	Estanqueidade à água de chuva e umidade do solo			F	B							F				F								F				F	
Fontes de umidade internas	Estanqueidade água utilizada operação e manutenção imóvel		N	A	B							F				F		N	A					F				F	
Condições de conforto no verão	Níveis de desempenho para condições de verão			F	B						N				N						F			F				F	
Condições de conforto no inverno	Níveis de desempenho para condições de inverno			F	B						N				N						F			F				F	
Isolação acústica de vedações externas	Isolação ao som aéreo do exterior		N	A			F			N				N							F			F				F	

MATRIZ “C” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA HABILTABILIDADE
(PARTE 2) - TECNOLOGIA “B”

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDROSSANITÁRIA				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Isolação acústica entre ambientes	Isolação ao som aéreo por paredes internas			N A				F I			N A								F I			N A							F I
Iluminação natural	Níveis mínimos de iluminação natural			N A				F I			N A								F I			F I						F I	
Contaminantes das instalações prediais	Prevenção contra contaminação da água potável			N A				N A			F I								F I			N A						N A	
Adequação instalações prediais	Adequação instalações hidrossanitárias			F I				F I			N A								F I			N A						N A	
Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	Ampliação de unidades evolutivas			F I				F I			F I								F I			F I						F I	
Conforto tátil ergonômico	Adequação ergonômica de dispositivo			N A				F I			F I								F I			N A						F I	
Adequação antropodinâmica	Força necessária para o acionamento de dispositivo			N A				F I			F I								F I			N A						F I	

MATRIZ “D” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA
SUSTENTABILIDADE - TECNOLOGIA “A”

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDR.				INSTALAÇÃO ELÉTRICA				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Vida útil partes construção	Prazos de garantia de componentes			F	O							F	I			F	I			F	I			F	I			F	I
Durabilidade materiais componentes	Proteção para corrosão durabilida. madeiras inseto/ fungo durabilid. metais durabilid. plásticos			F	B							F	I			F	I			F	I			F	I			F	I
Limpeza Manutenção	Condições para limpeza e manutenção de component			N	A			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I
Baixo Uso recursos naturais	Racionaliza consumo recursos naturais			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I
Baixo impacto ambiental	Utiliza materiais de baixo impacto ambiental			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I
Gera pouco resíduo	reduz geração de resíduos em obra			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I
Baixo consumo energético	Adota energia de fontes renováveis			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I			F	I

MATRIZ “D” PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAIS NA VISÃO DA
SUSTENTABILIDADE - TECNOLOGIA “B”

REQUISITO	ELEMENTO	FUNDAÇÃO				ALVENARIA				INSTALAÇÃO HIDR.				INSTALAÇÃO ELÉTR.				COBERTURA				ESQUADRIA				REVESTIM.			
		Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.	Satisfatório	Não satisfat.	Não se aplica	Falta inform.
Vida útil partes de construção	Prazos de garantia de component			F	O							F				F				F				F				F	
Durabilidade materiais componentes	Proteção corrosão durabilid.. madeiras inseto / fungo durabilid.. de metais durabilid. plásticos			F	B							F				F				F				F				F	
Limpeza manutenção	Condições para limpeza manutenção componentes			N				F				F				F				F				F				F	
Baixo uso recursos naturais	Racionaliza consumo recursos naturais			F				F				F				F				F				F				F	
Baixo impacto ambiental	Utiliza materiais baixo impacto ambiental			F				F				F				F				F				F				F	
Gera poucos resíduos	Controla / reduz geração de resíduos em obra			F				F				F				F				F				F				F	
Baixo consumo energético	Adota energia de fontes renováveis			F				F				F				F				F				F				F	

**APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA UTILIZADA PARA
VERIFICAÇÃO DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO**

- 1) Em quais etapas da produção este sistema construtivo favorece a redução de estoques?
- 2) Em quais momentos pode haver a troca de um operário mais qualificado por outro de habilidade reduzida?
- 3) Quais são as considerações a respeito do peso dos elementos empregados em obra?
- 4) A quantidade de fornecedores necessária para desenvolver uma obra com este sistema é maior ou menor que outros? Quais?
- 5) A variação de materiais empregados neste sistema é maior ou menor que outros? Quais?
- 6) Existe dependência de algum fornecedor específico em qualquer etapa deste sistema?
- 7) Quais são suas considerações a respeito da padronização dos componentes e métodos adotados?
- 8) Este sistema possibilita em algum momento reduzir etapas de trabalho? Em quais?
- 9) Este sistema permite que os processos sejam desenvolvidos de forma paralela ou existe dependência das tarefas?
- 10) O sistema permite alterações de projeto durante a fase de execução? Se a resposta for positiva, até que momento é possível?
- 11) O que os operários acham deste tipo de sistema construtivo em todas suas etapas? No seu entender a satisfação do cliente final é atingida?
- 12) Os métodos utilizados neste sistema ajudam a reduzir o desperdício de materiais?