

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES EM
ESTRUTURA METÁLICA**

AUTOR: PAULO GUSTAVO VON KRÜGER

ORIENTADORES: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Prof. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construções Metálicas.

Ouro Preto, julho de 2000

ANÁLISE DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO NAS EDIFICAÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA

AUTOR: PAULO GUSTAVO VON KRÜGER

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 7 de julho de 2000, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)

Prof. Dr. Marcílio Sousa da Rocha Freitas (UFOP)

Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo (UFOP)

Prof. Dr. Gilmar Guimarães (UFU - MG)

A minha família.

MEUS AGRADECIMENTOS

- A minha família que muito me apoiou.
- Aos meus orientadores Henor Artur de Souza e Arlene Maria Sarmanho Freitas pela competente orientação e grande compreensão.
- Aos professores do curso de Mestrado em Construções Metálicas e, em particular, aos professores Ricardo Azoubel da Mota Silveira e Luiz Fernando Ribeiro Loureiro, coordenadores da pós-graduação, que muito me ajudaram nesta empreitada.
- Ao diretor da Escola de Arquitetura das Faculdades Metodistas Integradas Izabela Hendrix, professor Renato César José de Souza, pelo apoio e incentivo.
- À coordenadora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da FEA-FUMEC, professora Maria Carmen Gomes Lopes, pelo incentivo.
- Aos professores Marilda Antonini Ribeiro Bastos e Tito Flávio Rodrigues de Aguiar pelos conselhos e compreensão nas horas de cansaço.
- Ao professor Róccio Rouver Rosi Peres pela disposição nas horas de sobrecarga de trabalho.
- À Precon, Premo, Isoeste, Lafarge Gypsum, Flasan, Sical, Stamp, High Tech e Knauf pelo apoio.
- À USIMINAS e, em particular, aos profissionais da Gerência de Desenvolvimento da Aplicação do Aço, pelo apoio e incentivo.
- Ao engenheiro Nildo Junqueira Lopes pelas informações.
- Ao aluno e bolsista Achilles Lobo pela imprescindível ajuda e grande disposição.
- Aos colegas do mestrado pelo companheirismo.
- Aos colegas do escritório pela ajuda.
- À Luciana de Toledo Barros pela paciência e carinho.

RESUMO

A construção civil, no país, utiliza o concreto armado como principal material para construção de edificações; material este que, aliado a alvenaria tradicional, é predominante no mercado nacional. No entanto, uma série de fatores mercadológicos atuais propiciou uma redescoberta da estrutura metálica, a qual já havia sido utilizada no país no final do século XIX e início do século XX. A abertura do mercado nacional permitiu a chegada de novos elementos de vedação utilizando diversos materiais adaptáveis à estrutura metálica, propiciando a substituição da alvenaria tradicional como principal elemento de vedação nas edificações. Neste trabalho faz-se uma análise qualitativa de desempenho estrutural e de características termo-acústicas e estanqueidade de vários tipos de painéis existentes no mercado brasileiro. São levados em consideração dados referentes a: impacto de corpo mole e de corpo duro, solicitação de peças suspensas, interação entre paredes e portas, resistência ao fogo e massa superficial para a análise de desempenho estrutural. Para as características termo-acústicas e estanqueidade são analisados dados referentes a: condutividade e resistência térmica, densidade, isolamento acústico e estanqueidade. Esta avaliação qualitativa proporciona dados necessários a uma correta adaptação e utilização destes materiais dentro dos parâmetros, características climáticas e da cultura construtiva do país.

ABSTRACT

The civil construction in Brazil uses the concrete as main building construction material. The concrete together with traditional masonry is predominant in the national market. However, a series of market factors has provided a rediscover of the steel structure, which has already been used in Brazil in the end of the 19 th century and the beginning of the 20 th century. The national market has provided the arrival of new insulation elements which used different kinds of material that could be adjusted to the steel structure, providing replacement of traditional masonry as the main insulation element. This study makes a qualitative analyses of the structural behaviour, the thermic and acoustic characteristics of the many kinds of panels available in the market. This is a concern about the following data: soft and rigid body impact, interaction among doors and walls, fire resistance density and acoustic isolation. This qualitative valuation provides the necessary data for the right adjustment and use of the materials into the climate, the parameters and building culture of the countries.

SUMÁRIO

Resumo	V
Abstract	VI
Lista de Figuras	XII
Lista de Tabelas	XIX
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	
1.1 – A CONSTRUÇÃO NO BRASIL	1
1.2 – OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3 – ESTRUTURA DO TRABALHO	4
Capítulo 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	6
Capítulo 3 – PAINÉIS DE VEDAÇÃO	17
3.1 – PAINÉIS ANALISADOS	17
3.1.1 – Painel de gesso acartonado	18
3.1.2 – Painel de concreto celular autoclavado	18
3.1.3 – Painel de poliestireno expandido	18
3.1.4 – Painel pré-moldado de concreto	18
3.2 – OUTROS PAINÉIS	19
3.2.1 – Painel composto por cimento reforçado com fibra de vidro	19
3.2.2 – Painéis isotérmicos	20
3.2.3 – Painéis alveolares extrudados	21
3.2.4 – Painel de gesso reforçado com fibra de vidro	25
3.2.5 – Placa cimentícia	26
3.2.6 – Outros tipos de painéis ainda em pesquisa	27

Capítulo 4 – PAINÉIS DE GESSO ACARTONADO	29
4.1 – CHAPAS DE GESSO ACARTONADAS	30
4.2 – PERFIS METÁLICOS ZINCADOS	31
4.3 – ACESSÓRIOS	31
4.4 – IDENTIFICAÇÃO DOS PAINÉIS	32
4.5 – JUNTAS	33
4.5.1 – Juntas de movimentação	33
4.5.2 – Juntas flexíveis ou telescópicas	35
4.6 – MONTAGEM DO SISTEMA	36
4.6.1 – Marcação e fixação de guias	36
4.6.2 – Colocação dos montantes	38
4.6.3 – Fixação das placas de gesso	41
4.6.4 – Acabamento	50
4.7 – OPÇÕES DE MONTAGEM DOS PAINÉIS	50
4.7.1 – Parede de divisão interna	50
4.7.2 – Parede de elevado desempenho acústico	50
4.7.3 – Parede de pé direito acima de três metros	52
Capítulo 5 – PAINÉIS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO	53
5.1 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL	54
5.2 – FABRICAÇÃO	55
5.2.1 – Moagem da areia	56
5.2.2 – Dosagem dos materiais constituintes	56
5.2.3 – Mistura dos materiais constituintes	56
5.2.4 – Moldagem	56
5.2.5 – Corte	57
5.2.6 – Cura	57
5.2.7 – Armazenamento	57
5.3 – JUNTAS	57
5.4 – ACESSÓRIOS	61
5.5 – MONTAGEM DO SISTEMA.....	62
5.5.1 – Marcação e fixação das guias	62

5.5.2 – Preparação e aplicação da argamassa	63
5.5.3 – Levantamento e cunhamento dos painéis	63
5.5.4 – Acabamento de juntas e enchimento dos vazios sob os painéis	64
5.6 – INSTALAÇÕES	65
Capítulo 6 – PAINÉIS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	66
6.1 – EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS	70
6.2 – JUNTAS	71
6.3 – MONTAGEM DO SISTEMA	73
6.3.1 – Fixação dos painéis	73
6.3.2 – Reforços dos cantos e encontro entre paredes	74
6.3.3 – Instalações	76
6.3.4 – Revestimento	77
Capítulo 7 – PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO	80
7.1 – DESGASTE E PROTEÇÃO DOS PAINÉIS	85
7.1.1 – Sugeira atmosférica	85
7.1.2 – Depósitos de uma superfície ou material adjacente	89
7.1.3 – Ação química devido à poluição atmosférica	89
7.1.4 – Materiais emergidos do próprio concreto	89
7.1.5 – Alterações na superfície do material	90
7.1.6 – Materiais estranhos depositados na superfície do painel	90
7.1.6.1 – Redução de absorção da umidade	91
7.1.6.2 – Uso de selantes	91
7.2 – TIPOS DE PAINÉIS	91
7.2.1 – Painéis-cortina	92
7.2.2 – Painéis de vedação	93
7.3 – ACABAMENTOS	93
7.3.1 – Acabamento antes do molde	94
7.3.2 – Acabamento tratado após o molde	97
7.3.3 – Acabamento após a cura do concreto	98
7.4 – CONEXÕES	99

7.4.1 – Métodos de fixação	101
7.4.2 – Tipos de conexão	101
7.4.3 – Sistemas de conexão	107
7.4.3.1 – Fixação no topo do painel	107
7.4.3.2 – Fixação na base do painel	108
7.4.3.3 – Fixação entre painéis	109
7.4.4 – Proteção de conexões	111
7.5 MONTAGEM DO SISTEMA	111
7.6 JUNTAS ENTRE PAINÉIS	120
Capítulo 8 – METODOLOGIA ADOTADA	124
8.1 - ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	124
8.1.1 – Contextualização histórica	124
8.1.2 – Os painéis de vedação	124
8.2 – PARÂMETROS DE ANÁLISE	125
8.3 – METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS	126
8.3.1 – Definição dos métodos de avaliação a serem adotados	128
8.3.2 – Requisitos e critérios de desempenho.....	128
8.3.3 – Identificação das exigências do usuário.....	130
8.3.4 – Condições de exposição	131
8.4 – CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	131
8.4.1 – Desempenho estrutural	131
8.4.1.1 – Ação de impactos de corpo mole e de corpo duro	132
8.4.1.2 – Cargas de ocupação	137
8.4.2 – Segurança ao fogo	138
8.4.3 – Estanqueidade à água	141
8.4.3.1 – Fundação	142
8.4.3.2 – Fachadas	142
8.4.3.3 – Divisórias internas	143
8.4.3.4 – Pisos	143
8.4.3.5 – Cobertura	143
8.4.4 - Conforto acústico	143

8.4.5 – Isolamento térmico	146
Capítulo 9 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS PAINÉIS	148
9.1 – DESEMPENHO ESTRUTURAL	149
9.2 – CARACTERÍSTICAS TERMO-ACÚSTICAS E DE ESTANQUEIDADE	151
9.3 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS PAINÉIS	153
Capítulo 10 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	157
10.1 – CONCLUSÕES	157
10.2 – SUGESTÕES	159
Referências Bibliográficas	161

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo 2	
Figura 2.1 – Vista da fachada frontal do chalé – Sistema Danly	9
Figura 2.2 – Detalhe do painel em chapa metálica	9
Figura 2.3 - Palácio de Cristal	10
Figura 2.4 – Corte do Edifício da Singer	11
Figura 2.5 – Fachada constituída por painéis em ferro fundido	12
Figura 2.6 – Perspectiva de um edifício com fachada em ferro fundido	12
Figura 2.7 – Fachada do Teatro José de Alencar, em Fortaleza, Ceará	15
Figura 2.8 – Estação ferroviária Bananal, São Paulo	16
Capítulo 3	
Figura 3.1 – Painel com enrijecedores incorporados	19
Figura 3.2 – Painel enrijecido por estrutura metálica leve	19
Figura 3.3 – Painel Isotérmico e detalhe da dupla sobreposição de chapas	20
Figura 3.4 – Detalhe interno de encaixe	21
Figura 3.5 – Detalhe de encaixe macho-fêmea	21
Figura 3.6 – Esquema de fixação do painel em uma viga metálica	22
Figura 3.7 – Detalhe de fixação do painel à viga metálica com conectores no flange superior	22
Figura 3.8 – Detalhe de ligação do painel ao flange inferior da viga metálica	22
Figura 3.9 – Detalhe de ligação do painel ao flange superior da viga metálica	22
Figura 3.10 – Fixação dos ganchos de içamento no painel	23
Figura 3.11 – Içamento do painel através de guindaste	23
Figura 3.12 – Fixação do painel à estrutura	24
Figura 3.13 – Vedação acabada	24
Figura 3.14 – Vista da elevação e seção do painel	25
Figura 3.15 – Painel de placa cimentícia	26

Capítulo 4

Figura 4.1	– Esquema básico do sistema construtivo do painel de gesso acartonado	30
Figura 4.2	– Exemplo do sistema completo para divisória interna	32
Figura 4.3	– Especificação básica padrão para painéis em gesso acartonado ..	32
Figura 4.4	– Exemplo de disposição das juntas de dilatação	33
Figura 4.5	– Junta de movimentação simples	34
Figura 4.6	– Junta de movimentação protegida	34
Figura 4.7	– Junta flexível onde a guia superior é fixada a uma peça de madeira	35
Figura 4.8	– Junta flexível utilizando montante superior em aço galvanizado	36
Figura 4.9	– Espaçamento entre as guias em L e T para posterior fixação do painel	37
Figura 4.10	– Locação dos pontos onde haverão portas, pias e estantes	37
Figura 4.11	– Detalhe do uso de reforço para fixação da pia à placa de gesso ..	38
Figura 4.12	– Dobra das guias inferiores para criação do vão da porta	39
Figura 4.13	– Fixação da guia e montante ao batente da porta	39
Figura 4.14	- Fixação da verga da porta	40
Figura 4.15	– Reforço do montante com peça de madeira	40
Figura 4.16	– Distância recomendada entre o piso e o painel	41
Figura 4.17	– Espaço existente entre o piso e o painel	41
Figura 4.18	– Esquema de montagem dos painéis aos montantes	42
Figura 4.19	– Esquema de montagem dos painéis em camadas duplas	42
Figura 4.20	– Fixação dos painéis aos montantes	43
Figura 4.21	– Reforços para fixação da pia e vaso sanitário, além do esquema estrutural dos montantes, guias e painéis	44
Figura 4.22	– Fixação da pia, vaso e bidê aos reforços da estrutura	44
Figura 4.23	– Fixação dos vasos por incorporação de suportes	45
Figura 4.24	– Fixação de móveis de cozinha através de suporte metálico fixado à estrutura da parede	45
Figura 4.25	– Exemplos de ganchos e buchas	46

Figura 4.26	– Parafusos com bucha de expansão ou basculante	46
Figura 4.27	– Esquema do tratamento de juntas entre painéis	47
Figura 4.28	– Fixação de encontro de paredes	47
Figura 4.29	– Fixação de encontro de paredes em T	48
Figura 4.30	– Reforço de canto utilizando perfis metálicos curvos.....	48
Figura 4.31	– Tratamento de áreas molháveis	49
Figura 4.32	– Vista superior e perspectiva da disposição da guia, montantes e placas	49
Figura 4.33	– Parede de divisão interna	51
Figura 4.34	– Parede de elevado desempenho acústico	51
Figura 4.35	– Perspectiva e paginação da elevação frontal de paredes de pé direito acima de 3 m	52
 Capítulo 5		
Figura 5.1	– Estrutura interna dos tipos de concreto leves	53
Figura 5.2	– Diagrama do processo de fabricação do concreto celular autoclavado	55
Figura 5.3	– Detalhe de fixação do painel à estrutura utilizando conectores ...	58
Figura 5.4	– Encontro dos painéis com o flange inferior da viga utilizando cantoneiras e chapas dobradas como elementos de fixação	59
Figura 5.5	– Detalhe de fixação de painéis à estrutura dispostos horizontalmente	59
Figura 5.6	– Detalhe do conector de fixação do painel à estrutura metálica	60
Figura 5.7	– Detalhe de fixação do painel às lajes do tipo steel deck no sentido perpendicular e longitudinal do mesmo	60
Figura 5.8	– Acessórios básicos para montagem dos painéis	61
Figura 5.9	– Marcação da disposição das guias	62
Figura 5.10	– Levantamento do painel com alavanca	63
Figura 5.11	– Cunhamento dos painéis	64
Figura 5.12	– Acabamento de juntas	64
Figura 5.13	– Enchimento dos vazios sob os painéis	64

Figura 5.14	– Detalhe de embutimento de tubulação	65
-------------	---	----

Capítulo 6

Figura 6.1	– Utilização de blocos EPS em caixão perdido	66
Figura 6.2	– Composição básica de painéis em EPS	67
Figura 6.3	– Seção transversal do painel produzido pela Cabrine Monolite	68
Figura 6.4	– Trespasse da tela metálica no encontro do painel com a laje de piso	69
Figura 6.5	– Trespasse da tela metálica no encontro entre painéis	70
Figura 6.6	– Equipamentos para montagem do sistema	71
Figura 6.7	– Fixação dos painéis da High Tech à estrutura utilizando ferro cabelo	72
Figura 6.8	– Tela de recobrimento da estrutura	72
Figura 6.9	– Trespasse da tela metálica para fixação de um painel da High Tech junto a outro e amarração da tela com arame	73
Figura 6.10	– Detalhe da fixação do trespasse da tela metálica utilizando arame	74
Figura 6.11	– Reforço dos cantos do vão da janela	74
Figura 6.12	– Reforço das vergas dos vãos de abertura	75
Figura 6.13	– Reforço de encontro entre paredes	75
Figura 6.14	– Uso de gerador de ar quente para abertura das fendas para passagem de dutos	76
Figura 6.15	– Colocação de dutos entre a tela e o painel	77
Figura 6.16	– Aplicação da argamassa utilizando projetor pneumático de argamassa junto a um painel de EPS da High Tech	78
Figura 6.17	– Desempenamento da superfície após a aplicação da argamassa nos painéis de EPS da High Tech	78

Capítulo 7

Figura 7.1	– Exemplo de algumas possibilidades de modelo de painéis pré-fabricados de concreto da STAMP	80
Figura 7.2	- Exemplo de alguns tipos de acabamento para painéis pré-moldados	81
Figura 7.3	– Esquema de montagem da ferragem para painéis	82
Figura 7.4	– Montagem das barras de ferro para estruturação dos painéis	83
Figura 7.5	– Movimentação da estrutura provocada por recalque de fundação	84
Figura 7.6	– Movimentação da estrutura provocada pela força do vento	84
Figura 7.7	– Pingadeira para condução de água pluvial	86
Figura 7.8(a)	– Interrupção da pingadeira antes de atingir o lado do painel	86
Figura 7.8 (b)	– Indução do fluxo de água para o centro do painel	86
Figura 7.9	– Detalhe de configuração correta e incorreta da pingadeira	87
Figura 7.10	– Gárgula para condução de água pluvial para fora do prédio	87
Figura 7.11	– Detalhe das gárgulas para condução da água pluvial	88
Figura 7.12	– Exemplo de detalhe incorreto e correto de juntas verticais	88
Figura 7.13	– Exemplo de painel cortina da Precon	92
Figura 7.14	– Exemplo de painel de vedação	93
Figura 7.15	– Painel de acabamento completamente liso da Precon	94
Figura 7.16	– Painel de acabamento com modulações de padrões geométricos	95
Figura 7.17	– Exemplo de painel de acabamento com modulações de padrões geométricos da Precon	95
Figura 7.18	– Exemplo de painel com acabamento frisado da Precon	96
Figura 7.19	– Exemplo de acabamento texturizado da Precon	96
Figura 7.20	– Exemplo de revestimento em granito da Precon	97
Figura 7.21	– Exposição de agregados na face externa do painel	98
Figura 7.22	– Acabamento após a cura de concreto utilizando pintura automotiva (poliuretânica) junto ao painel da Precon	99
Figura 7.23	– Vista frontal e lateral da posição incorreta das conexões	100
Figura 7.24	– Conexões próximas às colunas para prevenir flexões	100
Figura 7.25	– Posição incorreta e correta dos inserts de fixação	102

Figura 7.26	– Fixação dos painéis da STAMP através de inserts de seção quadrada	102
Figura 7.27	– Exemplo de inserts em painéis curvos da STAMP	103
Figura 7.28	– Fixação do painel à estrutura utilizando barras de conexão	104
Figura 7.29	– Isometria exemplificando a fixação do painel à estrutura e laje utilizando barras	104
Figura 7.30	– Detalhe de fixação do painel ao perfil metálico utilizando barras	105
Figura 7.31	– Detalhe de fixação do painel à laje utilizando barras	105
Figura 7.32	– Conexões de painéis à estrutura utilizando cantoneiras	106
Figura 7.33	– Exemplo de conexão do painel à estrutura utilizando barras	106
Figura 7.34	– Conexões utilizando inserts parafusados em cantoneiras soldadas à estrutura	106
Figura 7.35	– Exemplo de fixação no topo do painel	107
Figura 7.36	– Detalhe de conexão do painel à estrutura utilizando fixação no topo do mesmo	108
Figura 7.37	– Perspectiva exemplificando o sistema de conexão na base do painel	108
Figura 7.38	– Detalhe dos conectores na base e topo do painel	109
Figura 7.39	– Sistema de fixação entre painéis usando cantoneiras e chapa plana	110
Figura 7.40	– Detalhe de conexão do painel à estrutura utilizando cantoneira e fixação entre painéis com o uso de chapa plana	110
Figura 7.41	– Exemplo de auto-nivelamento de painéis utilizando parafusos ...	113
Figura 7.42	– Alças de cabo de aço para permitir içamento dos painéis	114
Figura 7.43	– Seqüência de içamento, transportes e montagem dos painéis	114
Figura 7.44	– Correta posição para transporte dos painéis da fábrica da STAMP para o canteiro de obras	115
Figura 7.45	– Seqüência de içamento do painel do caminhão para a fachada de uma edificação	115
Figura 7.46	– Posicionamento incorreto e correto do caminhão para içamento do painel à edificação	116

Figura 7.47	– Tolerância entre painel e laje	116
Figura 7.48	– Tolerância entre painéis	117
Figura 7.49	– Tolerância de desnível de vigas	117
Figura 7.50	– Tolerância de desnível de vigas	118
Figura 7.51	– Tolerância de desnível de colunas	118
Figura 7.52	– Tolerância de desalinhamento entre vigas de pavimentos diferentes	119
Figura 7.53	– Tolerância de desalinhamento entre colunas	119
Figura 7.54	– Tolerância entre desvio de coluna de um único pavimento	120
Figura 7.55	– Uso de selante nas juntas horizontais	121
Figura 7.56	– Exemplo de câmara de descompressão nas juntas horizontais	121
Figura 7.57	– Selante na superfície exterior do painel	122
Figura 7.58	– Exemplo de câmara de descompressão	123

Capítulo 9

Figura 9.1	– Seção do painel pré-moldado de concreto	149
------------	---	-----

LISTA DE TABELAS

	Página
Capítulo 8	
Tabela 8.1 – Impactos de corpo mole em paredes internas	133
Tabela 8.2 – Impactos de corpo mole em pilares e paredes	134
Tabela 8.3 – Alturas utilizadas no ensaio de impacto de corpo mole	135
Tabela 8.4 – Impactos de corpo mole em pisos	136
Tabela 8.5 – Parâmetros utilizados no impacto de corpo duro	136
Tabela 8.6 – Critérios relativos à resistência ao fogo	140
Capítulo 9	
Tabela 9.1 – Dados referentes ao desempenho estrutural	150
Tabela 9.2 – Dados referentes às características termo-acústicas e estanqueidade	152

1. INTRODUÇÃO

1.1 A Construção no Brasil

O Brasil possui uma cultura construtiva bastante difundida para o uso do concreto como material estrutural e da alvenaria cerâmica tradicional como principal componente para vedação interna e externa das edificações. Essa cultura, surgida no início deste século, não sofreu nenhuma concorrência significativa de outro material e técnicas construtivas.

No entanto, próximo à virada do século, este quadro começou a se alterar. Iniciou-se, principalmente na década de 90, um interesse maior na utilização do aço na construção civil. Este interesse se deu por uma série de fatores que, reunidos, possibilitaram um crescimento bastante significativo do uso deste material como sistema estrutural. Podemos aqui enumerar alguns:

- a) Uma maior estabilidade da economia, propiciando um planejamento a médio e longo prazo mais confiável;
- b) A abertura do mercado nacional e a criação do Mercosul, possibilitando a entrada de novas tecnologias construtivas e obrigando o mercado a investir em qualidade para se tornar competitivo;
- c) A criação do código de defesa do consumidor e a crescente valorização e exigência da qualidade por parte dos clientes privados (Souza, 1995) que, aliado à abertura do mercado nacional, incentivaram investimentos na qualidade não só do produto final, bem como do processo construtivo;
- d) A privatização de empresas estatais e, mais particularmente, as siderúrgicas, que se viram obrigadas a buscar novos mercados e a certificação de qualidade total para se tornarem competitivas;
- e) Esforços das entidades civis e profissionais para atualização das normas existentes, proporcionando maior adequação ao desenvolvimento científico e tecnológico da produção industrial (Ferreira, 1998);
- f) Pesquisas tecnológicas desenvolvidas por universidades que, com o apoio de empresas, vêm melhorando o desempenho do material e suscitando o interesse dos alunos de arquitetura e engenharia civil quanto às potencialidades do aço (Ferreira,

1998; Barros & Sabbatini, 1996; Barros & Sabbatini, 1998; Braga, 1998 a; Braga, 1998 b; Compas & Hanai, 1991).

g) Desenvolvimento de softwares de cálculos e projetos interativos com o sistema CAD/CAM.

h) Automação industrial.

Todos estes fatores, aliados a uma nova mentalidade dos profissionais da área da construção civil, possibilitaram um movimento crescente no sentido de repensar antigas técnicas de construção, investir na modernização e buscar a industrialização do processo construtivo e o uso do aço como o sistema estrutural que traduz esta nova mentalidade.

No entanto, não se pode propor uma inovação tecnológica sem propor uma inovação no sistema construtivo completo, o que inclui os painéis e elementos de vedação. Existem dois problemas básicos com relação à estrutura metálica: o alto custo inicial e as características próprias do material. O primeiro problema já começa a ser solucionado devido ao custo-benefício vantajoso de uma construção mais rápida, precisa, industrial e sem os desperdícios de uma obra tradicional. O segundo problema já necessita de maiores cuidados, pois a deslocabilidade da estrutura traduzida pela alta capacidade elástica e grande esbeltez de seus perfis exige painéis de vedação sem vínculo estrutural.

Desta forma, os profissionais se viram obrigados a buscar vedações mais compatíveis com a estrutura metálica. Vários tipos de painéis chegaram ao mercado, sendo alguns deles rapidamente utilizados (Dias, 1993; Dias, 1997). No entanto, tais materiais foram importados de países cujo clima e cultura diferem do Brasil, apresentando problemas construtivos e de conforto aos usuários.

1.2 Objetivos do trabalho

Este trabalho tem por finalidade fazer uma análise comparativa quanto ao desempenho global dos painéis de vedação mais utilizados no mercado brasileiro. As avaliações

qualitativas consideram o conforto e segurança do usuário de uma edificação comercial para as características ambientais e culturais brasileiras.

Esta avaliação comparativa é fruto da necessidade de reunir e sistematizar informações quanto ao desempenho de painéis dispersas em bibliografias, relatórios e certificados. Esta sistematização propicia, de forma inédita, a análise e comparação entre diversos painéis existentes no mercado, e não uma avaliação isolada de determinado painel ou material constituinte. Desta forma, este trabalho torna-se uma referência capaz de propiciar uma noção global dos diversos painéis do mercado, fornecendo dados necessários a uma comparação e posterior escolha do painel que melhor se adequie às necessidades do usuário, projetista ou construtor.

Para a avaliação comparativa dos painéis, criou-se uma classificação em determinadas categorias dos mesmos, seguida de uma classificação específica para cada tipo . Esta classificação específica pode estar ligada às diversas tipologias, variações de composição, acabamento ou fixação específicas de cada painel. Algumas das classificações aqui descritas são obtidas em bibliografias específicas ou informações de fabricantes. No entanto, algumas delas são adaptações de classificações obtidas em bibliografia estrangeira, sendo inédito a sistematização de tais dados para a cultura construtiva do Brasil.

Este trabalho também cria uma sistematização quanto a sequência de montagem dos painéis, técnicas e tipos de fixação, cuidados com transporte e acabamento, entre outros. Esta sistematização, por sua vez, cria uma metodologia de abordagem de análise e caracterização dos painéis, que pode ser seguida ou adaptada para qualquer outro tipo de painel.

É importante salientar a necessidade de seguir as condições climáticas e características culturais nacionais, pois não existem soluções completamente universais ou padronizadas, exigindo adaptações particulares quanto à cultura e economia local.

Sendo assim, há a necessidade de análise de parâmetros relativos às características climáticas e construtivas para a correta adaptação, criação e desenvolvimento de uma mentalidade construtiva racionalizada direcionada à realidade do país.

1.3 Estrutura do trabalho

Além do capítulo introdutório, este trabalho compreende mais 9 capítulos, descritos a seguir.

No capítulo 2 é realizada a contextualização histórica dos painéis de vedação para a construção metálica. Neste capítulo são analisados os motivos que levaram ao desenvolvimento da construção industrializada e porque, somente na década de 1990 o Brasil começa a mudar sua mentalidade construtiva voltando-a para a tentativa de racionalização das técnicas construtivas.

No capítulo 3 são apresentados vários tipos de painéis de vedação e suas características gerais, além da classificação destes materiais quanto à vedação e ao material predominante ou matéria prima, enumerando ainda os quatro tipos de painéis a serem analisados mais detalhadamente nos capítulos 4, 5, 6 e 7.

No capítulo 4 é analisado, de forma detalhada, o painel de gesso acartonado, levando-se em consideração suas características de montagem, tipologias, juntas, entre outras.

No capítulo 5 faz-se a análise detalhada do painel de concreto celular autoclavado, onde são levantadas as mesmas considerações do capítulo 4.

No capítulo 6 analisa-se o terceiro tipo de painel, ou seja, de poliestireno expandido, detalhando suas características, sistema de montagem, cuidados durante a construção, entre outros.

No capítulo 7 é analisado o painel pré-moldado de concreto, sendo este o quarto e último a ser descrito de forma detalhada, abrangendo etapas de montagem, tipologias, técnicas de construção, entre outros.

No capítulo 8 são levantados os parâmetros de análise e critérios de desempenho que devem ser atendidos pelos painéis. Também são descritos, de forma sucinta, os ensaios necessários à obtenção dos dados necessários a esta análise.

No capítulo 9 é apresentado um quadro comparativo para a análise qualitativa dos painéis, segundo os parâmetros e critérios de desempenho obtidos no capítulo anterior.

No capítulo 10 são apresentadas algumas conclusões deste trabalho.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Este capítulo tem por finalidade analisar o contexto histórico no qual o país se insere em relação às técnicas construtivas que utilizam painéis de vedação. Para tal, faz-se necessária uma retrospectiva histórica do uso deste tipo de material, de forma a situar o Brasil, tanto cronológica quanto tecnicamente, na evolução de sistemas construtivos que utilizam painéis, contribuindo na busca de melhor elucidar e compreender a atual situação da construção civil no país e as mudanças tanto de mentalidade quanto técnica e tecnológica.

Segundo Ramos (1997), os painéis de vedação são “aqueles que são projetados e solucionados para substituir as alvenarias numa construção, podendo ser autoportantes ou não, isolantes acústicos ou não, e isolantes térmicos ou não, mas sempre estanques à umidade e à chuva”. Ao analisar tal definição, pode-se perceber que os painéis surgiram para substituir, mesmo que parcialmente, a alvenaria como elemento vedante. Com base nesta afirmação, proceder-se-á ao questionamento e avaliação do momento histórico no qual houve a necessidade e/ou tecnologia necessária à fabricação e utilização de painéis de vedação.

Segundo Hobsbawm (1981 e 1995), o século XIX está compreendido entre a eclosão da Revolução Francesa e o início da 1ª Guerra Mundial, chamado assim de o *Grande Século XIX*, afirmando ainda que a economia deste mesmo século teve como principal influência a Revolução Industrial Britânica, cuja política e ideologia tiveram como base o Iluminismo advindo da Revolução Francesa. É no contexto deste século XIX e de duas revoluções quase simultâneas e interrelacionadas pela influência de uma sobre a outra que se configura uma *civilização do ferro*. A Inglaterra foi a precursora e teve, praticamente, o monopólio do mercado do ferro fundido produzido em escala industrial até meados do século XIX. Isto se deve ao fato de ser a Grã-Bretanha o berço da Revolução Industrial e o palco do surgimento das primeiras siderúrgicas.

Anteriormente às construções em ferro, existiam dois conceitos que se pode chamar de paradigmas bastante difundidos e historicamente tradicionais na cultura arquitetônica. O

primeiro paradigma é que os materiais a serem utilizados para construção deveriam estar em seu estado natural (madeira e pedra), podendo ser polidas, talhadas ou esculpidas, mas não manufaturadas pelo homem, tais como o ferro fundido. O segundo era o conceito de arquitetura eterna. O edifício construído em determinado sítio urbano deveria servir somente àquele local e tanto sua locação quanto sua construção deveriam ser perenes, herança esta que remonta às edificações egípcias. Os conceitos e técnicas construtivas baseados nestes paradigmas iriam ser influenciados ou até mesmo modificados graças à construção em ferro fundido.

O século XIX e suas revoluções trouxeram modificações radicais na sociedade e economia no mundo. Surgia a burguesia como classe dominante, a economia capitalista e a industrialização. Neste contexto, o ferro fundido produzido em larga escala e a um preço atraente, aliado às suas características físicas, se tornou um material com grandes potencialidades. Desta forma, o ferro fundido foi utilizado de várias maneiras e nos mais diversos campos de atuação. No entanto, as construções em alvenaria ainda eram satisfatórias, não sendo indispensável o acréscimo do ferro fundido nas edificações. Com a ansiedade dos produtores em provar a viabilidade do novo produto, procurou-se impor o uso deste material para criar um novo mercado e, conseqüentemente, a obtenção de lucros. Assim, o ferro fundido começa a impor uma revolução gradual nos métodos construtivos (Silva, 1986) e há uma separação das atividades do engenheiro e do arquiteto e o surgimento da industrialização da construção de edifícios.

Esta revolução na técnica construtiva começa a afetar o modo de pensar a moradia. É nesta mesma época que surge o termo *Máquina de Morar*, mais precisamente às vésperas da 1ª Guerra Mundial, e ainda dentro do conceito do século XIX defendido por Hobsbawm. Criado então por Georges Christie, vice-presidente da Sociedade Nacional dos Arquitetos na França, o termo acima citado refere-se aos atuais prédios e conjuntos habitacionais, construídos a princípio para o proletariado e que, posteriormente, foi utilizado por Le Corbusier para definir suas idéias de habitação (Guerrano, 1995).

No entanto, esta nova idéia de moradia não foi muito bem recebida pelos próprios trabalhadores, como pode ser percebido nas sentenças abaixo:

“Ser livre é, para começar, poder escolher seu domicílio”, ou ainda, “... quando voltássemos para a casa, encontraríamos mais um regulamento pendurado na porta, referindo-se a quase todas as nossas ações privadas; não seríamos mais os donos em nossa casa.” (Gerrano, 1995). Outros textos afirmavam que preferiam a liberdade de uso de habitações precárias ao relativo conforto e controle das vilas operárias, existindo uma grande rejeição à padronização e ainda um desejo grande de moradias personalizadas.

Entretanto, a Europa, palco das grandes mudanças como descrito anteriormente, fornecia um campo favorável às modificações nas técnicas construtivas e na maneira de pensar o espaço habitável. Desta forma, começaram a surgir técnicas construtivas que utilizavam o ferro e, em consequência, o surgimento do termo pré-fabricação.

No intuito de tornar as edificações totalmente pré-fabricadas e com a vontade dos produtores de ferro de comprovarem sua versatilidade, começaram a surgir painéis de ferro; inicialmente nos arredores de Londres, por volta da década de 1840, sendo posteriormente criadas novas técnicas ou aperfeiçoadas as já existentes.

Além da Inglaterra, outros países, tais como Bélgica, Alemanha e França, também começaram a desenvolver técnicas de construção utilizando o ferro como material construtivo, aproveitando-se de novos processos de produção implantados em suas indústrias emergentes. Esta foi a contrapartida às instalações siderúrgicas britânicas, cujos vastos investimentos em processos mais antigos inviabilizava alterar o sistema produtivo de seu parque siderúrgico.

Uma destas novas técnicas foi patenteada por um belga chamado Joseph Danly com o nome de Sistema Danly (Silva, 1986). Esta técnica consistia em chapas metálicas duplas e com determinado espaçamento entre elas, criando um colchão de ar entre as mesmas. A rigidez do painel era obtida por dobras que também serviam como elemento decorativo. Estas chapas eram fixadas com parafusos à perfis metálicos, formando uma estrutura única auto-portante. As figuras 2.1 e 2.2 ilustram o chalé edificado no Campus da Universidade Federal do Pará construído utilizando, provavelmente, o Sistema Danly.

Nesta mesma época, surge a técnica da galvanização e as chapas metálicas corrugadas, a princípio, provocaram certo atraso para o desenvolvimento do ferro como elemento de vedação. No entanto, a incompatibilidade com relação ao conforto ambiental aliada à estética desfavorável fizeram com que a chapa galvanizada corrugada perdesse espaço para as chapas de ferro, mais plásticas e mais resistentes à compressão.

Mesmo assim, as primeiras construções em ferro, na verdade, eram vedadas com vidro, vide o Palácio de Cristal (figura 2.3), construído em Londres em 1851 (projetado por Paxton) e que, apesar de ser considerada a primeira construção totalmente em ferro, vidro e madeira, nada mais foi que a consolidação do uso do novo material, já experimentada em construções anteriores, tais como a Palm House no Kew Garden, também em Londres no ano de 1848.



Figura 2.1 – Vista da fachada frontal do chalé – Sistema Danly



Figura 2.2 – Detalhe do painel em chapa metálica

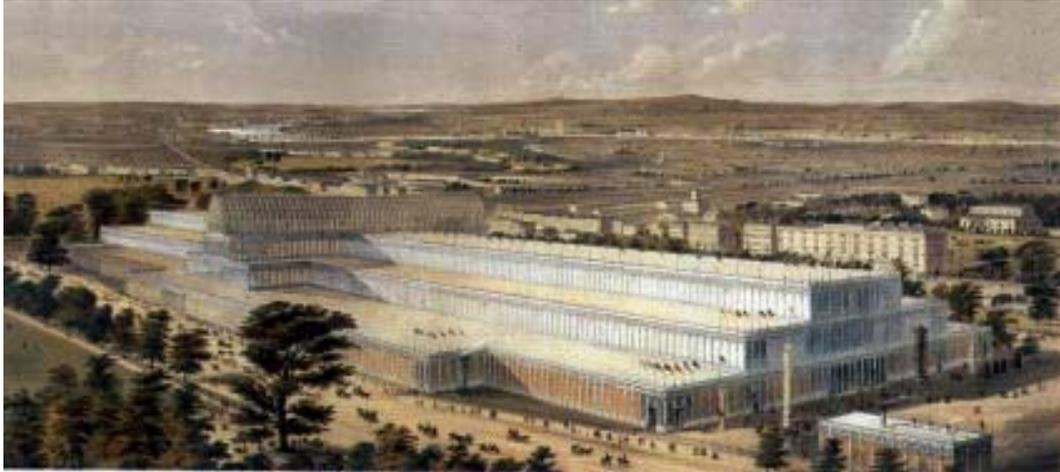


Figura 2.3 – Palácio de Cristal (Stevenson, 1998)

Assim, a Europa era um campo propício ao surgimento do que hoje denomina-se construção industrializada. No entanto, os Estados Unidos apresentavam condições de tornar-se também campo fértil para esta nova técnica construtiva.

Diferente dos países da América Latina e Ásia, que eram apenas o mercado consumidor da Europa, os Estados Unidos possuíam uma crescente produção de ferro que era quase totalmente absorvida pelo próprio mercado interno, possibilitando o crescimento de sua própria indústria siderúrgica, sem depender de mercado externo. Aliada à produção, está o fato de que a corrida do ouro americana iniciou no século XIX, quando os garimpeiros e aventureiros necessitavam de moradia e vilarejos que fossem rapidamente e facilmente montados e desmontados. Conseqüentemente tem-se a utilização dos métodos de pré-fabricação e montagem importados da Europa e posteriormente desenvolvidos no próprio país. Além disso, a própria técnica tradicional de construção em madeira, trazida pelos ingleses ainda no século XVII, permitiu uma abertura à nova técnica de construção industrializada cujo sistema construtivo muito se assemelhava às construções tradicionais americanas.

Outra característica que possibilitou este desenvolvimento foi o crescimento acelerado de algumas cidades, como New York, por exemplo. Nestas cidades, utilizava-se

fachadas inteiras em ferro, reproduzindo os mais diversos estilos. Dois produtores se destacaram na fabricação e montagem de tais estruturas: James Bogardus e Daniel Badger (Silva, 1986), que executaram vários destes edifícios em diversas cidades americanas. Daniel Badger, por exemplo, era capaz de pré-fabricar um edifício completo. Na figura 2.4, tem-se o corte do Edifício da Singer, cuja estrutura totalmente metálica possui piso em abobadilhas de tijolo apoiados em perfis também metálicos. Já as figuras 2.5 e 2.6 representam uma fachada e perspectiva exemplificando prédios constituídos de painéis em ferro fundido.

Desta forma, a Europa e Estados Unidos possuíam infra-estrutura e mercado que possibilitaram o crescimento e desenvolvimento de painéis, inicialmente em ferro e, posteriormente, em outros tipos de materiais, desenvolvendo a construção civil industrializada. É importante ressaltar que, apesar da Europa ter sido o berço da nova

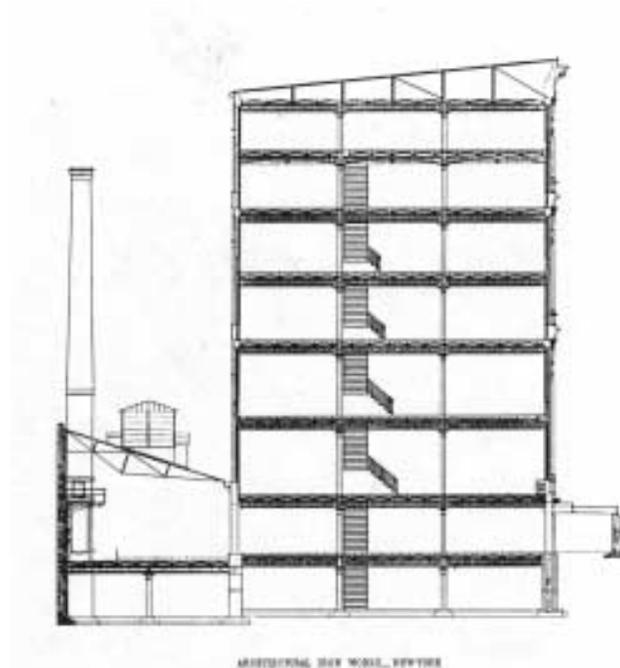


Figura 2.4 – Corte do Edifício da Singer (Silva, 1986)

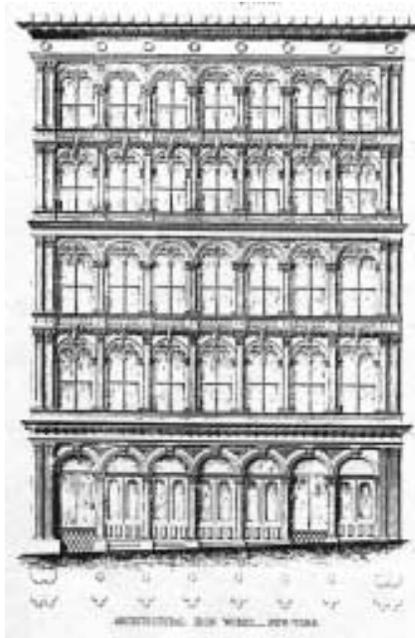


Figura 2.5 – Fachada constituída por painéis em ferro fundido (Silva, 1986)



Figura 2.6 - Perspectiva de um edifício com fachada em ferro fundido (Silva, 1986)

técnica construtiva, somente a partir do término da 2ª Guerra Mundial é que este continente, com uma grande deficiência habitacional e a necessidade de construções mais rápidas, possibilitou o desenvolvimento de técnicas de painéis com mais veemência, surgindo vedações em gesso acartonado, concreto celular e poliestireno expandido, entre outros.

No Brasil, a utilização de painéis e materiais de vedação junto à estrutura metálica tem se desenvolvido nos últimos anos, estando defasada em relação ao início do uso destas técnicas construtivas na Europa e Estados Unidos, que ocorreram em meados do século XIX. Isto se deve ao fato de que, nesta época, apesar de oficialmente o Brasil não ser mais uma colônia portuguesa, o país possuía características similares às colônias inglesas na África e Ásia, servindo como mercado consumidor aos produtos britânicos.

Outro fator bastante importante é que a corrida do ouro brasileira se deu no século XVII, quando o Brasil ainda era colônia portuguesa, diferentemente dos Estados Unidos. Por não possuírem as técnicas construtivas do século XIX, as cidades brasileiras foram construídas ou se desenvolveram para serem duradouras e constituírem entrepostos para o envio do ouro à Portugal.

Assim, se constituiu uma mentalidade voltada para a residência fixa, construída com alvenaria e cantaria, sem a característica de mobilidade e provisoriedade inerentes à cultura surgida durante a corrida do ouro norte americana. Esta cultura de perenidade e da não padronização e modulação, necessárias à industrialização da construção civil, foi ainda mais reforçada com a chegada do concreto e sua vasta utilização pelos arquitetos modernistas e pela construção civil nacional.

Pode-se afirmar que houve uma arquitetura com a utilização de painéis de ferro e que, em algumas cidades brasileiras, foram edificados prédios bastante significativos; entretanto, isto não representou uma influência para a mudança da mentalidade construtiva no país, e sim apenas a importação de um modelo construtivo feito em determinadas épocas restritas (ciclo da borracha, por exemplo) para demonstração de desenvolvimento econômico e social ou urgência para atender determinada demanda.

Isto pode ser observado analisando-se a conjuntura histórica brasileira do século XIX. Com a transferência da Corte Portuguesa em 1808 e a vinda da Missão Francesa em 1816, houve uma crescente substituição do gosto estético vigente pelo neo-classicismo presente na Europa. Esta rápida mudança de valores propiciou uma supervalorização das tecnologias importadas que, aliadas a um rápido crescimento econômico de determinadas regiões e em certas épocas, incentivou a compra de vários produtos industrializados de países europeus.

Como exemplo destas importações tem-se edificações nas cidades do norte do país que, no final do século XIX e princípio do XX, se enriqueceram com o comércio da borracha. Este rápido enriquecimento permitiu que as administrações públicas destas cidades e as classes mais abastadas comprassem da Europa prédios e residências pré-fabricadas. É possível observar, ainda hoje, alguns exemplares destas edificações tanto em Belém quanto em Manaus. A figura 2.7 é um exemplo de construção em ferro fundido edificado em Fortaleza, Ceará (Teatro José Alencar), cidade esta que, assim como as cidades da região norte acima relacionadas, importaram vários exemplares deste tipo de construção graças a um enriquecimento proporcionado pela exportação de produtos agrícolas.

Neste período também são importados sistemas construtivos industrializados que utilizam painéis em ferro. O primeiro prédio que se tem notícia, segundo Silva (1986), é a Estação Ferroviária de Bananal, figura 2.8. Construída entre 1880 e 1888, foi inaugurada para atender ao ramal que liga Bananal (cidade localizada no interior do estado de São Paulo, próxima à fronteira com o estado do Rio de Janeiro) à linha ferroviária Rio-São Paulo. Esta cidade era importante produtora de café e o ramal serviria para atender ao escoamento da sua produção. Esta técnica possuía características que conduzem à conclusão que seria o Sistema Danly mencionado anteriormente, se tratando de uma edificação bastante singular.



Figura 2.7 – Fachada do Teatro José de Alencar, em Fortaleza, Ceará

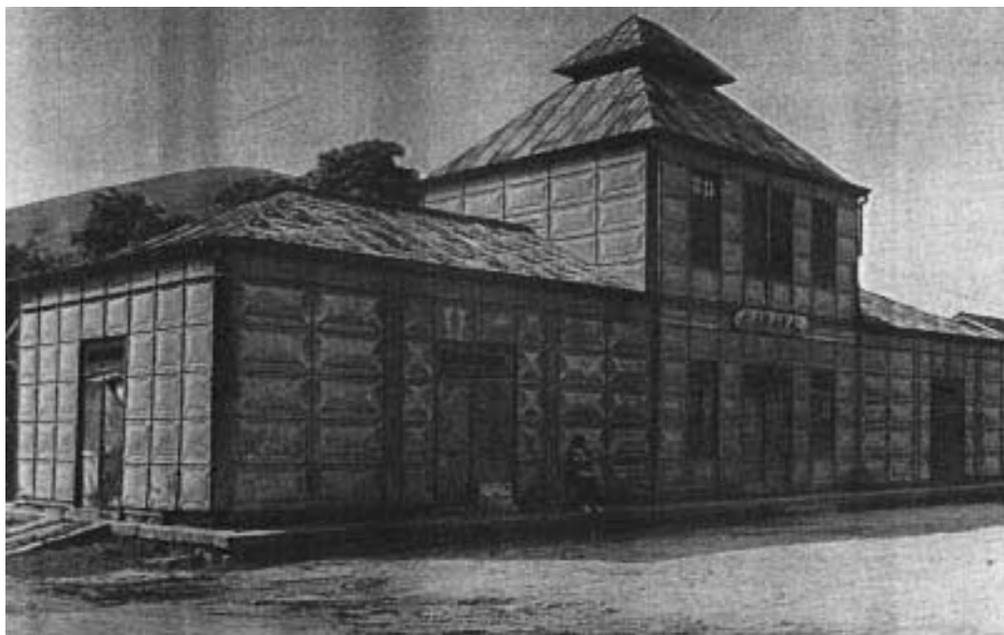


Figura 2.8 – Estação ferroviária Bananal, São Paulo (Silva, 1986)

Assim, a importação de técnicas construtivas industrializadas no Brasil do século XIX não ocorreu em uma região específica ou em larga escala, mas apenas alguns exemplares que estão localizados em regiões de grande e rápido desenvolvimento econômico. Este desenvolvimento econômico proporcionado pela exportação de produtos agrícolas não significou um desenvolvimento de novas técnicas construtivas, técnicas estas que não foram absorvidas pela cultura construtiva do país, não representando uma mudança de mentalidade similar à ocorrida nos países da Europa e Estados Unidos.

3. PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Atualmente, no Brasil, existem vários tipos de painéis, tanto aqueles que já se encontram no mercado quanto os que ainda passam por pesquisas em instituições, ou até mesmo em empresas que pretendem comercializar determinado produto. Sendo assim, para realizar a avaliação global e análise de painéis, faz-se necessária a limitação dos tipos destes elementos construtivos. Dois tipos de classificação de painéis podem ser adotados: quanto à vedação e quanto ao material ou matéria prima predominante. A classificação quanto à vedação compreende painéis de vedação interna e externa e a classificação quanto ao material ou matéria prima compreende, por sua vez, painéis de gesso acartonado, concreto celular autoclavado, poliestireno expandido e pré-moldado de concreto.

No que se refere à classificação quanto à vedação, alguns painéis existentes no mercado são específicos para áreas internas ou externas, mas muitos deles podem ser usados para ambos os tipos de vedação, dificultando sua correta avaliação. Desta forma, optou-se pela análise quanto à segunda classificação, ou seja, quanto ao material ou matéria prima, permitindo agrupar os painéis em quatro tipos básicos, já mencionados anteriormente. Esta classificação é baseada nos tipos de painéis mais comercializados atualmente, não sendo analisados outros painéis que ainda se encontram em fase experimental, em fase de lançamento recente no mercado ou por possuírem características similares a um dos quatro tipos de painéis classificados quanto ao material predominante ou matéria prima.

3.1 Painéis analisados

A seguir, serão descritos os quatro tipos de painéis analisados neste trabalho, sendo que uma caracterização mais detalhada será feita nos capítulos seguintes.

3.1.1 Painel de gesso acartonado

O painel de gesso acartonado é composto de placas de gesso revestidas com folhas de papelão em ambos os lados, formando um conjunto resistente à tração e flexão. Para sua fixação, são utilizados montantes e guias em aço ou madeira com parafuso comum. Derivações deste sistema permitem atender a diversas necessidades, tais como isolamento acústico, grandes vãos e resistência à umidade e ao fogo.

3.1.2 Painel de concreto celular autoclavado

O painel de concreto celular autoclavado é constituído por cimento e/ou cal (aglomerante), material rico em sílica, agente formador de gás e água. Originário dos países escandinavos, teve seu uso mais difundido entre 1945 e 1967. É na década de 1960 que se instalou a primeira fábrica de concreto autoclavado no país, não apresentando, inicialmente, desempenho satisfatório (Costa, 1995). Este quadro mudou devido, entre outros fatores, aos grandes investimentos das empresas para adaptar tal material à realidade do Brasil.

3.1.3 Painel de poliestireno expandido

O painel de poliestireno expandido caracteriza-se por uma alma composta por este material entre duas malhas de telas de aço soldadas e revestidas com argamassa projetada. Esta composição permite que o conjunto parede/laje (quando esta última também é composta por painéis de poliestireno expandido) trabalhe em conjunto, formando uma estrutura monolítica auto-portante. O poliestireno expandido é um produto derivado do petróleo, sendo um monômero polimerizado em meio aquoso, recebendo uma adição de gás pentano como agente expensor (Souza, 1992, 1995).

3.1.4 Painel pré-moldado de concreto

O painel pré-moldado de concreto, por sua composição básica em concreto armado, não possui limites dimensionais, permitindo variações plásticas significativas, ficando

apenas condicionado à disposição e características da fôrma, tanto metálica quanto de madeira. Desta forma, estes painéis permitem revestimento prévio com cerâmica, pastilha, pinturas e texturas variadas. Sua fixação à estrutura é feita por *inserts* ou argamassa e sua instalação exige equipamentos de içamento como guindaste ou grua.

3.2 Outros painéis

Neste item serão apresentados alguns painéis que não serão analisados neste trabalho, pois seu recente lançamento no mercado ou seu caráter experimental não permite a obtenção de dados necessários a uma avaliação comparativa junto aos quatro tipos de painéis escolhidos e acima descritos.

3.2.1 Painel composto por cimento reforçado com fibra de vidro

Inicialmente produzido na Inglaterra, os primeiros painéis utilizavam enrijecedores incorporados e cantoneiras de fixação aparafusadas ao mesmo, como representado na figura 3.1, sendo gradualmente substituída por enrijecimento através de estrutura metálica leve, conforme representado na figura 3.2 (Silva & John, 1998).

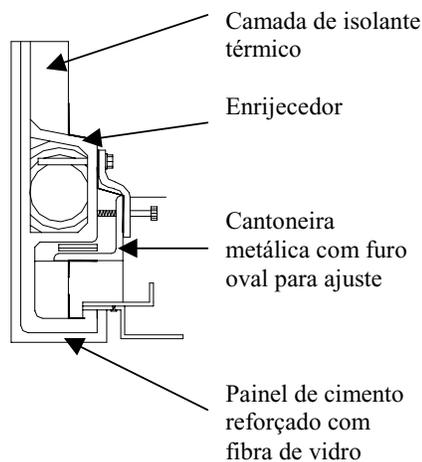


Figura 3.1 – Painel com enrijecedores incorporados (Silva & John, 1998)

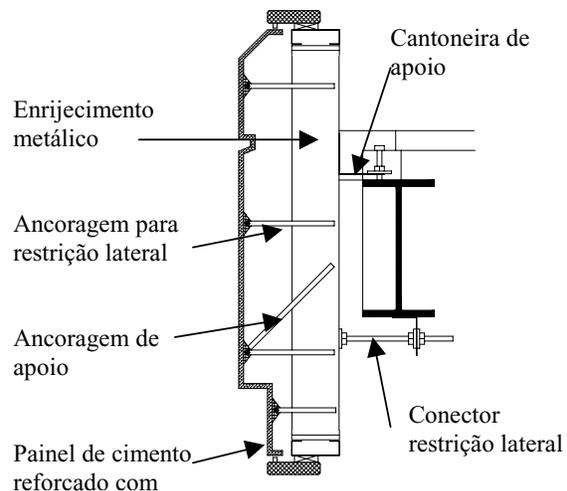


Figura 3.2 – Painel enrijecido por estrutura metálica leve (Silva & John, 1998)

A fabricação destes painéis consiste, basicamente, na projeção de argamassa junto à fibra-de-vidro em uma fôrma, permitindo utilizar vários produtos, tais como aditivos, pigmentos, minerais etc. São muito utilizados tanto como opção aos painéis pré-fabricados de concreto, como para restauração de fachadas de prédios históricos, entre outros usos. Possui como principal vantagem a leveza e grande plasticidade, permitindo flexibilidade de formas, dimensões, cores e texturas superficiais, chegando a espessuras de até 10 mm.

3.2.2 Painéis isotérmicos

Estes painéis são mais utilizados para instalações industriais, sendo ainda recomendados para residências, prédios comerciais, *shoppings* etc. São compostos por miolo em poliestireno expandido revestido com chapas de aço galvanizado pré pintadas (figura 3.3), de espessura igual a 0,50 mm e são montados de acordo com encaixe ilustrado nas figuras 3.4 e 3.5.

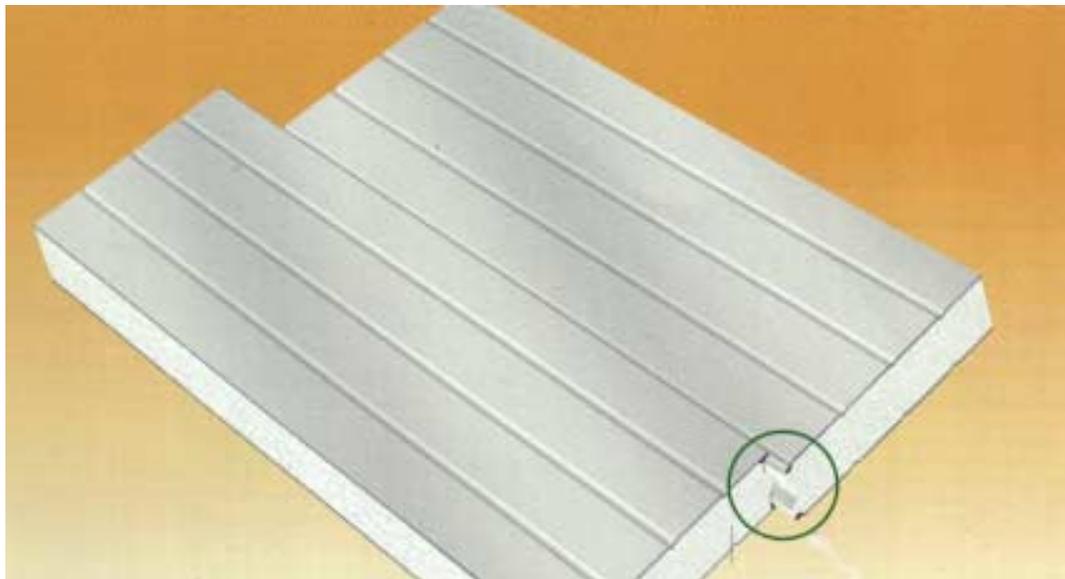


Figura 3.3 – Painel Isotérmico e detalhe da dupla sobreposição de chapas (Isoeste, 1999)



Figura 3.4 – Detalhe interno de encaixe (Isoeste, 1999)



Figura 3.5 – Detalhe de encaixe macho-fêmea (Isoeste, 1999)

Os painéis isotérmicos possuem como principal vantagem a facilidade de montagem, leveza e boa resistência térmica, permitindo ainda total reciclagem do material. De acordo com a empresa Isoeste (1999), a largura útil de seus painéis é de 1.150 mm, comprimento de até 12 m (limite recomendado para facilitar o transporte) e espessura variando de 35 mm a 300 mm. Possui como limitação a cor (somente o branco) devido ao alto custo da pintura.

3.2.3 Painéis alveolares extrudados

No painel alveolar extrudado, sua seção transversal é caracterizada por alvéolos no sentido longitudinal do mesmo, sendo o concreto conformado e compactado por extrusão. Sua alta compactação lhe confere resistência característica de 45 MPa, garantindo assim total aderência em todo o perímetro da armadura protendida, de cordoalha de aço 190 RB. Estes painéis podem ser utilizados tanto como laje quanto para vedação e suas dimensões são 1.250 mm de largura, comprimento variando de 5 m a 10 m e espessura de 150, 210 e 265 mm (Premo, 1999). As figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 ilustram esquemas de fixação do painel a perfis metálicos. Ao se utilizar conectores (figuras 3.6, 3.7 e 3.9), pode-se dimensionar a viga metálica como viga mista.

Estes painéis têm como principais vantagens vencer grandes vãos, não ter necessidade de escoramento durante a montagem dos mesmos, grande capacidade de carregamento e dispensar capeamento ou acabamento superficial, podendo ficar

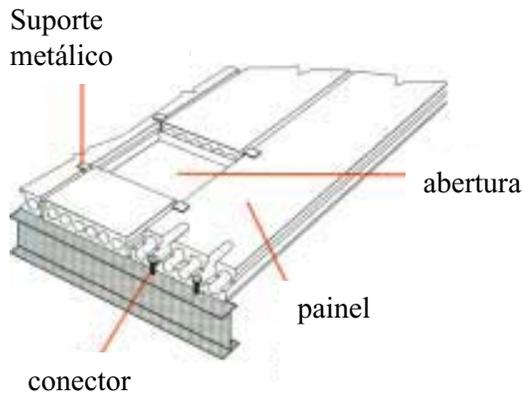


Figura 3.6 – Esquema de fixação do painel em uma viga metálica (Premo, 1999)

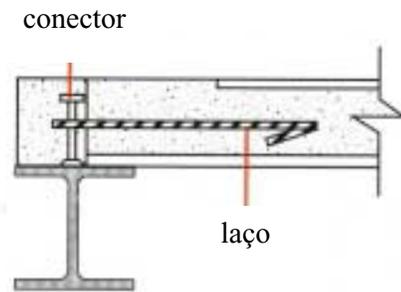


Figura 3.7 – Detalhe de fixação do painel à viga metálica com conectores no flange superior (Premo, 1999)

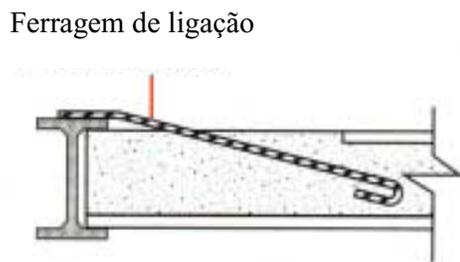


Figura 3.8 – Detalhe de ligação do painel ao flange inferior da viga metálica (Premo, 1999)

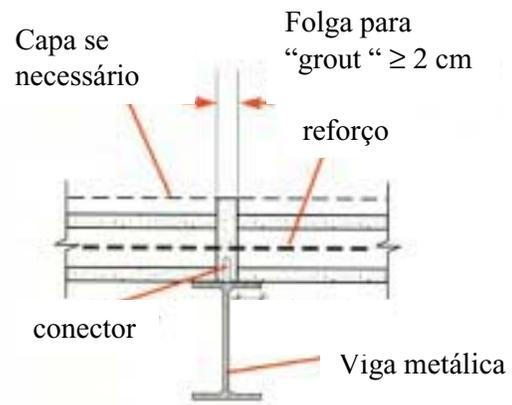


Figura 3.9 – Detalhe de ligação do painel ao flange superior da viga metálica (Premo, 1999)

aparentes ou receber aplicação direta de tinta. Os alvéolos que caracterizam estes painéis facilitam a passagem de instalações elétricas e hidráulicas e propiciam bom isolamento acústico e climatização (os furos podem ser utilizados como dutos de ar condicionado). As figuras 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13 ilustram o esquema de montagem destes painéis na obra.



Figura 3.10 – Fixação dos ganchos de içamento no painel



Figura 3.11 – Içamento do painel através de guindaste



Figura 3.12 – Fixação do painel à estrutura através de parafuso ou cantoneira



Figura 3.13 – Vedação acabada

3.2.4 Painel de gesso reforçado com fibra de vidro (GRG-glass reinforced gypsum)

O painel GRG é composto, basicamente, de gesso natural de construção e fibra de vidro tipo E (eletrical). A combinação de matriz frágil (pasta de gesso) reforçada com fibras dúcteis (fibras de vidro) permite criar um material com maior capacidade de deformação e maior resistência que o da matriz (Oliveira & Agopyan, 1996). A fabricação dos painéis consiste na mistura de gesso e água e, após 30 segundos, adição das fibras de vidro de comprimento ente 13 mm e 25 mm e na proporção de 0,5% a 2,5% em relação à massa de gesso. Após concluída a mistura, o material é colocado em fôrmas de aço, onde é adensado e sua superfície regularizada para posteriormente ser desformada.

Estes painéis são específicos para o uso interno e, devido às suas características de composição e seção, possuem como vantagem a ausência de som cavo, som este característico de painéis de gesso acartonado (paredes ocas). A figura 3.14 exemplifica um painel GRG desenvolvido em pesquisa realizada pelo Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP (Oliveira&Agopyan,1996).

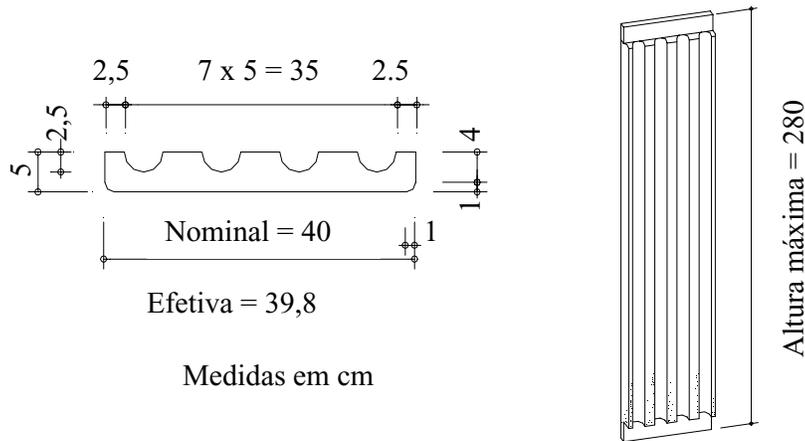


Figura 3.14 – Vista da elevação e seção do painel GRG (Oliveira & Agopyan, 1996)

3.2.5 Placa cimentícia

Este sistema de vedação muito se assemelha ao sistema de fechamento com gesso acartonado, sendo mais utilizado para vedação externa ou ambientes expostos à ação da água, tais como banheiros e cozinhas. Estas vedações são compostas, basicamente, de placa de cimento reforçado com fibras de celulose ou até mesmo com telas de fibra de vidro, dependendo do fabricante, podendo ainda ser adicionados quartzos ou utilizado argamassa de baixa densidade (Perlite, 1999; Superboard, 2000). Suas dimensões variam também de acordo com o fabricante, podendo ser de 900 mm de largura, 1.250 mm de comprimento e 12,5 mm de espessura (denominadas Perlcon Board) ou mesmo de 1.200 mm x 2.400 mm com diversas espessuras (denominadas Superboard ou Useplac) (Kiss, 2000). Por se tratar de um sistema similar aos painéis de gesso acartonado, a fixação e montagem destes segue a sequência descrita no capítulo 4, diferindo apenas o material utilizado para cortes e acabamento entre juntas.

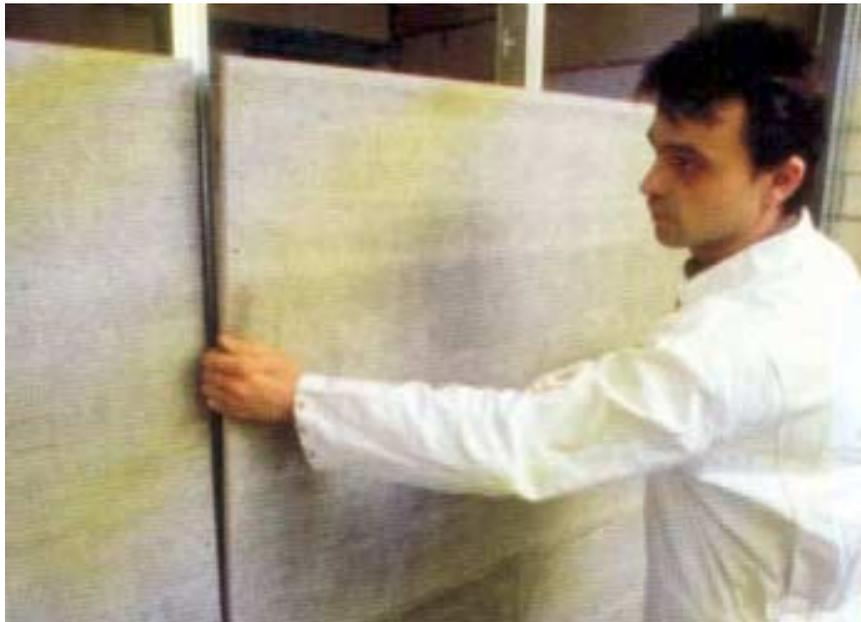


Figura 3.15 – Painel de placa cimentícia (Knauf, 1999a)

3.2.6 Outros tipos de painéis ainda em pesquisa

Alem dos painéis já citados anteriormente, cabe aqui descrever alguns tipos que buscam aliar a racionalização da construção civil à reciclagem, não agressão ao meio ambiente e utilização dos recursos naturais renováveis de maneira eficaz.

Dentre estes painéis, citamos o uso de fibras de celulose de papel jornal junto à argamassa de cimento e areia, utilizada na fabricação de painéis de vedação vertical em edifícios (Neves, 1998). O pioneiro na pesquisa do uso de fibras para reforço de material no Brasil, o CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, Bahia) buscou reduzir custos da habitação através de inovações tecnológicas de materiais e processos construtivos que culminou no estudo da argamassa celulósica (ou fibra de celulose de papel jornal e argamassa) e os resultados parciais de tal pesquisa foram apresentados no VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (Neves, 1998).

Outra matéria prima pesquisada na fabricação de painéis é o solo-cimento. Este material é composto por uma mistura de solo, cimento e água que, quando compactada, adquire características de resistência mecânica e durabilidade adequadas à construção de edifícios (Neves, 1993). Tanto o CEPED (Bahia) quanto a Universidade Federal de Ouro Preto dedicam esforços no sentido de pesquisar painéis de solo-cimento. Em Ouro Preto, um Centro Comunitário foi construído sob a supervisão da equipe de pesquisa e projetos civis do Escritório Piloto dos Estudantes da UFOP (1984).

Existem ainda pesquisas com painéis produzidos com argamassa de aglomerante de escória reforçados com fibra de coco em desenvolvimento a partir de um convênio entre o IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica – e a Escola Politécnica da USP. O objetivo é pesquisar a viabilidade de tal material para o uso em habitação popular (Monett & Pecararo, 1993).

Outros painéis, ainda em pesquisa ou em fase de viabilização econômica e comercial, demonstram a infinidade de possibilidades de composição e técnica construtiva que estes sistemas de vedação propiciam, alguns deles possuindo, como matéria prima,

material resultante de processo de reciclagem de lixo ou entulho de obra. É importante salientar que a listagem de painéis descrita anteriormente não esgota a variada gama existente no mercado.

4. PAINÉIS DE GESSO ACARTONADO

Este sistema construtivo começou a ser empregado nos países da Europa, particularmente na França, após a 2ª Guerra Mundial, com o intuito de atender a uma alta demanda habitacional, necessitando de uma técnica construtiva rápida e repetitiva. Os painéis são compostos de placas em gesso revestidas com folhas de papelão em ambos os lados. O papelão confere ao gesso a estrutura necessária à resistência à tração e flexão. Assim o painel trabalha comparativamente ao concreto armado, onde o papelão garante resistência à tração (similar ao aço) e o gesso possibilita resistência à compressão (similar ao concreto).

Para a fixação destes painéis são usados guias e montantes tanto em madeira quanto em aço, com tratamento superficial em alumínio ou zinco, sendo este último o mais utilizado. Este sistema permite derivações de acordo com as necessidades de resistência à umidade e fogo, isolamento acústico ou fixação em grandes vãos.

No Brasil, os painéis foram experimentados inicialmente em alguns conjuntos habitacionais na década de 1960 (Souza, 1995). No entanto, não foi realizado um levantamento adequado sobre a aceitação deste sistema construtivo e seu uso foi pouco incentivado. Existia um preconceito do usuário de não aceitar a ressonância características das paredes de painéis, levando a pouca ou nenhuma utilização desta técnica construtiva. A abertura do mercado nacional, o crescimento da utilização de estruturas metálicas e a necessidade de elementos de vedação mais compatíveis com o mesmo, levou a um crescente uso do gesso acartonado no país, mais precisamente na década de 1990.

Por se tratar de um sistema industrializado, os painéis não permitem improvisos durante a obra. Os painéis devem ser montados após a elaboração de todos os projetos, tanto arquitetônico quanto os complementares. As instalações hidráulicas, elétricas entre outras instalações devem ser previstas, proporcionando uma prévia abertura de passagens tanto nos painéis quanto nos montantes, além de prever reforços para a fixação de estantes, tanques, bancadas etc. já previstos e especificados em projeto. Neste

sistema os painéis de gesso acartonado são colocados após a instalação dos dutos de energia, telefonia, água e esgoto. Estes dutos são instalados onde foram projetados e compatibilizados entre si, proporcionando testes de instalação que identificarão possíveis reparos após a instalação dos painéis, permitindo posterior acabamento. O sistema básico é composto de chapas de gesso acartonado, perfis metálicos zincados e acessórios, como representado na figura 4.1.

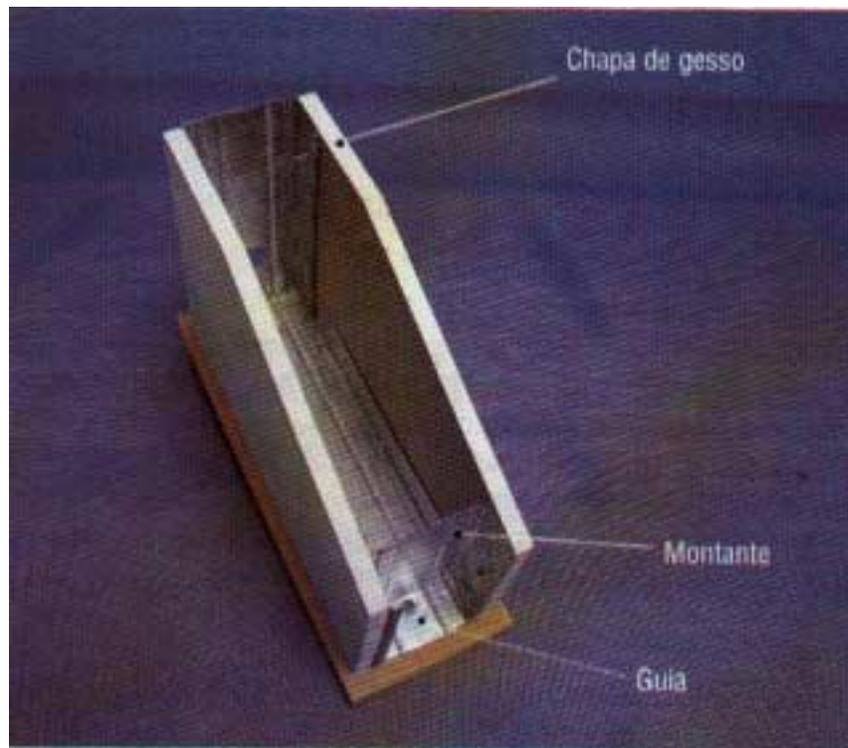


Figura 4.1 – Esquema básico do sistema construtivo do painel de gesso acartonado (Mitidieri Filho, 1997)

4.1 Chapas de gesso acartonadas

As placas de gesso acartonado possuem, na sua maioria, dimensões nominais de 1,20 m de largura e de 2,60 a 3,00 m de comprimento, sendo de 12,5 mm, 15,0 mm e 18,0 mm as espessuras mais empregadas. Existem, basicamente, placas padrão para paredes sem exigência específica, hidrófuga para paredes empregadas em ambientes sujeitos à ação

de umidade (banheiros, cozinhas e áreas de serviço) e resistente ao fogo para paredes com exigências especiais de resistência ao fogo (Mitidieri Filho, 1997).

4.2 Perfis metálicos zincados

Os perfis metálicos zincados, quando importados, possuem espessura média de 60 mm, sendo que, no Brasil, os fabricantes estão orientando os fornecedores a adaptar a espessura dos perfis às chapas zincadas de fabricação nacional. Nas guias, utilizam-se perfis R48 e R70, com largura nominal de 48 mm e 70 mm, respectivamente. Para os montantes, são comumente utilizados os perfis M48-35 e M70-35, com largura nominal de 47 mm e 69 mm, respectivamente, e altura nominal de abas de 35 mm. Podem também ser adotados outros tipos de tratamento superficial, como zinco e alumínio (Mitidieri Filho, 1997).

4.3 Acessórios

Para cada sistema de montagem, os fabricantes possuem um conjunto de acessórios específicos. Os equipamentos básicos são parafusos para fixação das chapas de gesso acartonadas à estrutura, fita de papel reforçado (empregada nas juntas entre chapas ou em reforços ou acabamento de cantos), cantoneiras metálicas para acabamento e proteção das chapas nos cantos de paredes e bordas cortadas, lã de vidro para preenchimento entre as placas (para melhorar o desempenho acústico) e massa especial para rejuntamento que podem ser à base de gesso e aditivos, inclusive resinas, que conferem maior trabalhabilidade e plasticidade.

Um exemplo do sistema é apresentado na figura 4.2, onde se pode observar o mesmo montado como um todo: painéis, perfis, acessórios e materiais isolantes.

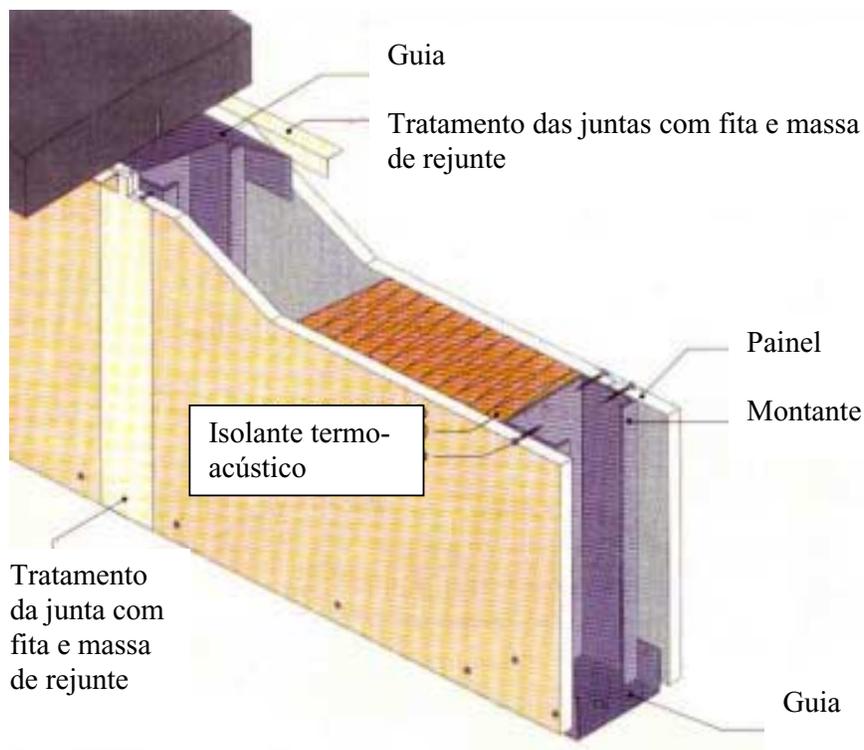


Figura 4.2 - Exemplo do sistema completo para divisória interna (Lafarge Gypsum, 1999 a)

4.4 Identificação dos painéis

A designação padrão do sistema consiste em espessura da parede, largura e espaçamento entre montantes, como mostra a figura 4.3 sendo as demais características, como tipo de preenchimento, tipos de estruturas ou paredes especiais, especificadas de acordo com o fabricante.

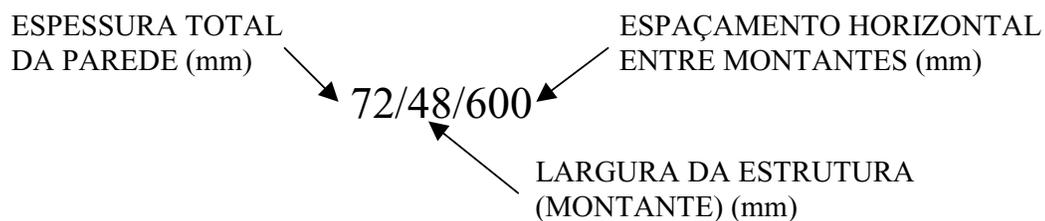


Figura 4.3 - Especificação básica padrão para painéis em gesso acartonado (Mitidieri Filho, 1997)

4.5 Juntas

Existem, basicamente, dois tipos de juntas em painéis de gesso acartonado: juntas de movimentação e juntas flexíveis ou telescópicas. O primeiro tipo de junta é utilizada para união entre painéis, enquanto o segundo tipo é utilizado para junções entre painel e laje de teto.

4.5.1 Juntas de movimentação

As juntas de movimentação devem ser adotadas em paredes de grandes dimensões, de forma a evitar problemas de fissuração por movimentações higrotérmicas. Para paredes simples (que possuem uma camada de chapa de gesso por face), recomenda-se uma junta de dilatação a cada 50 m^2 . Para paredes duplas (duas camadas de chapa de gesso por face), recomenda-se uma junta de dilatação a cada 70 m^2 . No entanto, a distância máxima entre juntas deve ser preferencialmente de 15 m (figura 4.4). As figuras 4.5 e 4.6 exemplificam dois tipos de juntas de movimentação. Na figura 4.5 apresenta-se uma junta de movimentação simples utilizada quando não há compromisso com a resistência ao fogo ou isolamento acústico. O segundo tipo de junta, utilizado para paredes que necessitem de isolamento acústico e resistência ao fogo, é indicado na figura 4.6.

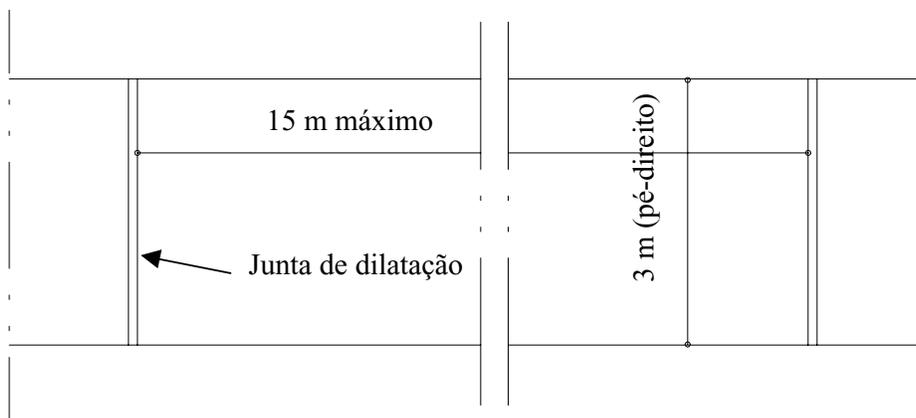


Figura 4.4 – Exemplo de disposição das juntas de dilatação

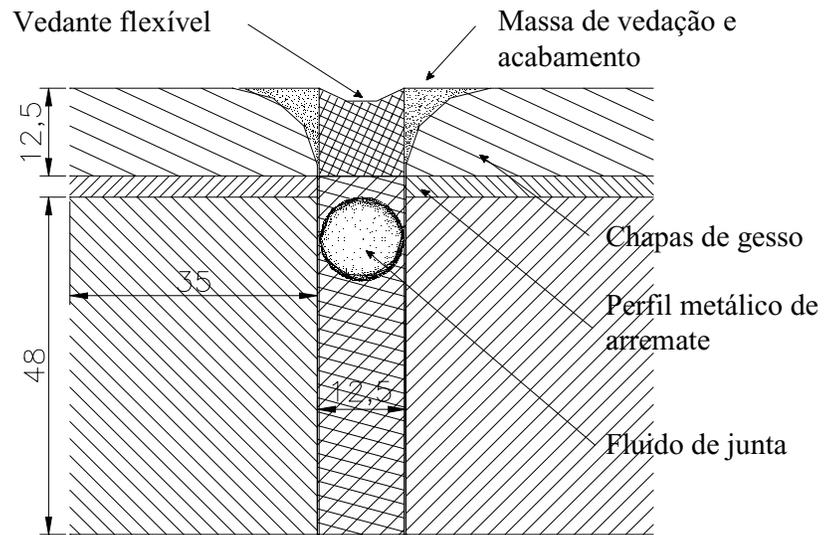


Figura 4.5 – Junta de movimentação simples (Mitidieri Filho, 1997)

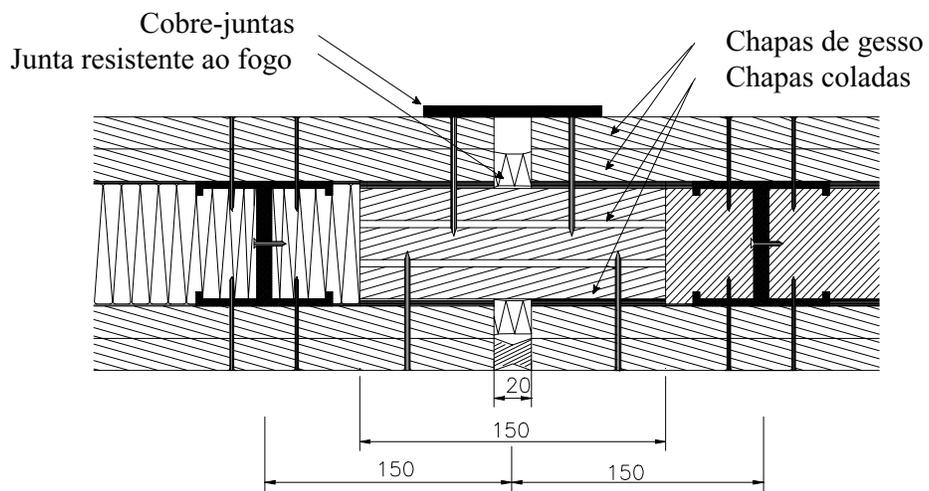


Figura 4.6 - Junta de movimentação protegida (Mitidieri Filho, 1997)

4.5.2 Juntas flexíveis ou telescópicas

De acordo com Mitidieri Filho (1997), as paredes compostas por placas de gesso acartonado permitem uma movimentação ou acomodação de cerca de 15mm, em função de deformações da estrutura suporte, pois possuem folgas entre seus componentes, especificamente entre montantes e guias, e entre chapas de gesso e estrutura (lajes ou vigas). Entretanto, para estruturas mais flexíveis ou deformáveis, devem ser previstos detalhes especiais para acomodação aos esforços, como as juntas flexíveis ou telescópicas. A figura 4.7 representa uma junta flexível existente entre a guia superior e uma peça de madeira. A guia superior é fixada a esta peça de madeira que, por sua vez, é fixada à laje ou à estrutura. É necessário a colocação de moldura fixa somente à laje para cobrir a distância do final da chapa de gesso à laje. A figura 4.8 representa uma junta flexível similar à anterior, diferenciando somente no montante superior, responsável pela fixação das guias, que substitui a peça de madeira ilustrada na figura 4.7.

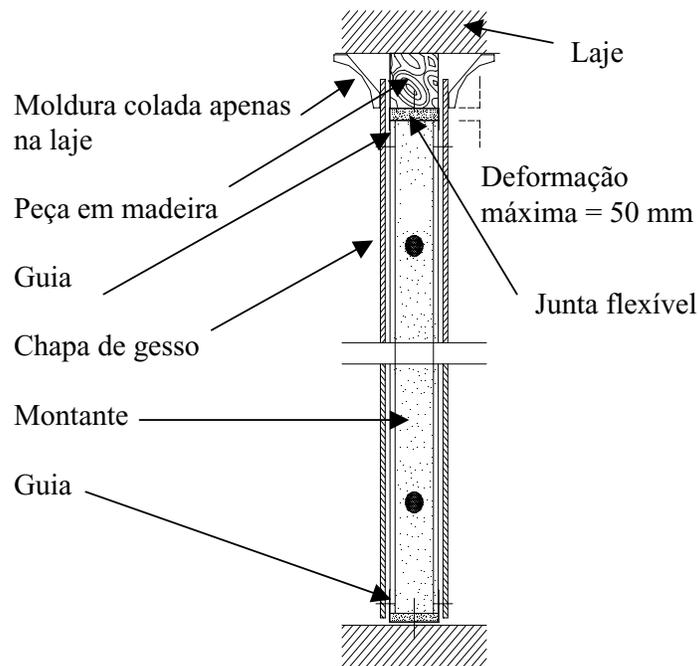


Figura 4.7 – Junta flexível onde a guia superior é fixada a uma peça de madeira (Mitidieri Filho, 1997)

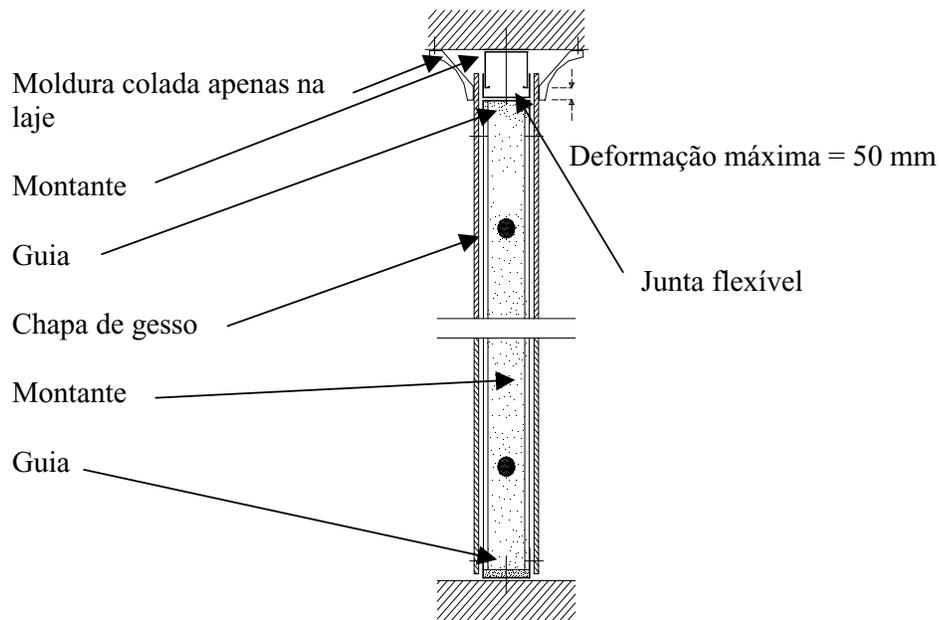


Figura 4.8 – Junta flexível utilizando montante superior em aço galvanizado (Mitidieri Filho, 1997)

4.6 Montagem do sistema

Para a montagem do sistema de painéis de gesso acartonado, deve-se seguir os seguintes passos: marcação e fixação das guias, colocação dos montantes, fixação das placas de gesso e acabamento.

4.6.1 Marcação e fixação de guias

Deve-se marcar no piso e no teto a localização das guias. Nesta marcação leva-se em consideração a espessura do gesso para a fixação de outras guias em L ou T (figuras 4.9 4.10), além de marcar os pontos de referência onde estão localizados vãos de portas, fixação de pias, bojós, estantes, armários etc. (figura 4.11) já determinados em projeto. As guias devem ser aparafusadas no piso e no teto de 50 a 50 cm, podendo também ser empregados pinos de aço aplicados com pistola de fixação, devendo usar parafuso e

bucha. A figura 4.9 demonstra a necessidade de se prever o espaçamento entre as guias em L e T, para a posterior fixação do painel, sendo este espaçamento igual à espessura do mesmo.

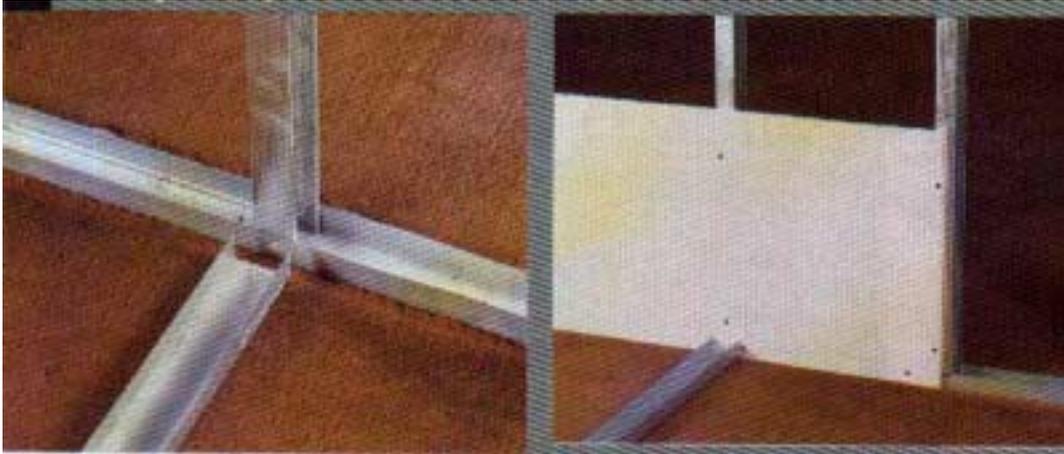


Figura 4.9 – Espaçamento entre as guias em L e T para posterior fixação do painel (Mitidieri Filho, 1997)



Figura 4.10 – Locação dos pontos onde haverão portas, pias e estantes (Lafarge Gypsum, 1999 a)

A locação dos pontos de referência, para a fixação de elementos que exercerão peso sobre os painéis, se faz necessário devido ao fato de, em determinadas situações, prever reforço interno para a sustentação dos mesmos, como representado na figura 4.11.

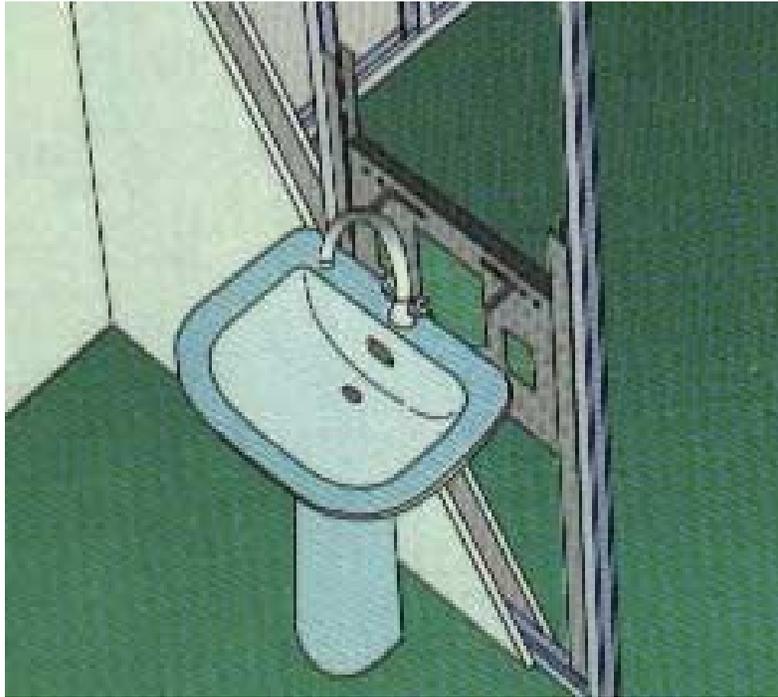


Figura 4.11 – Detalhe do uso de reforço para fixação da pia à placa de gesso (Lafarge Gypsum, 1999 a)

4.6.2 Colocação dos montantes

Os montantes são cortados com dimensão 5 mm a menos que o pé direito do ambiente onde são fixados os painéis. Esta redução de 5 mm representa o pé direito do ambiente exceto as espessuras das guias que serão fixadas no teto e no piso. A fixação dos montantes deve ser feita a partir das paredes laterais e nas guias já aparafusadas e os demais devem ser posicionados verticalmente com uma distância entre si que varia de 30 a 60 cm de eixo a eixo.

Posteriormente, deve-se proceder à fixação dos marcos que irão suportar as portas. Para as portas no meio dos vãos e próximas às paredes laterais, a locação dos mesmos deve ser feita da seguinte forma:

- a) As guias inferiores de ambos os lados do vão da porta deverão ser dobradas 90° a uma altura de 15 a 20 cm, como na figura 4.12.

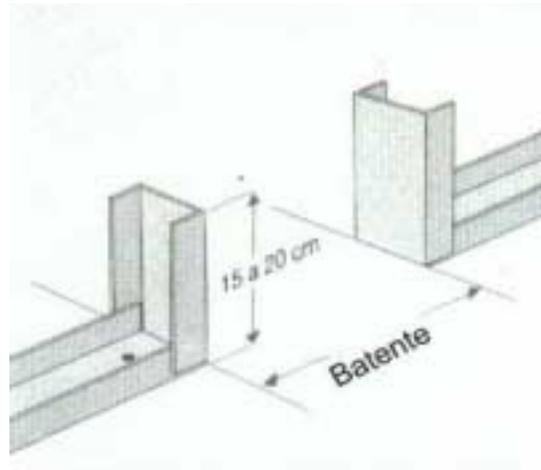


Figura 4.12 - Dobra das guias inferiores para criação do vão da porta (Lafarge Gypsum, 1999 a)

- b) A fixação dos batentes que apoiam os marcos da porta às guias já dobradas a 90° , indicado no item anterior, deve proceder como indicado na figura 4.13.

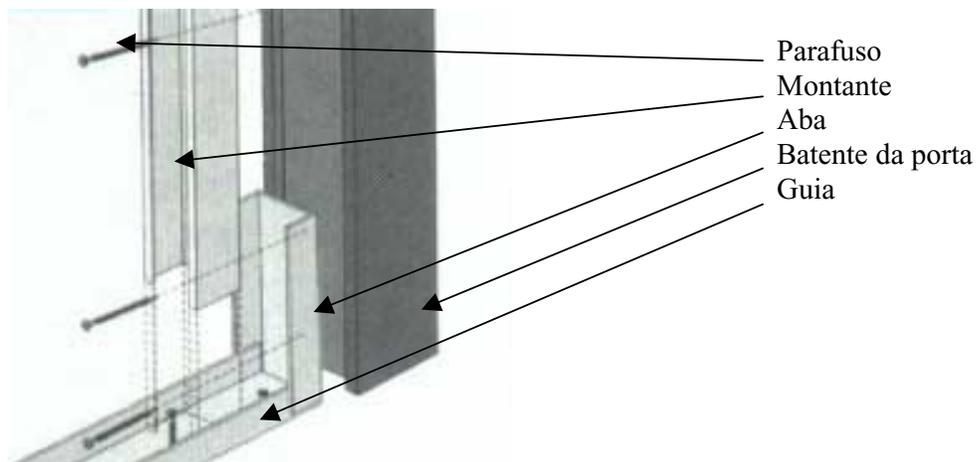


Figura 4.13 – Fixação da guia e montante ao batente da porta (Lafarge Gypsum, 1999 a)

c) A próxima etapa é a colocação das guias com abas na altura onde será fixada a verga da porta, além de montantes intermediários necessários à fixação das chapas de gesso. A figura 4.14 ilustra o esquema de fixação desta guia e montantes.

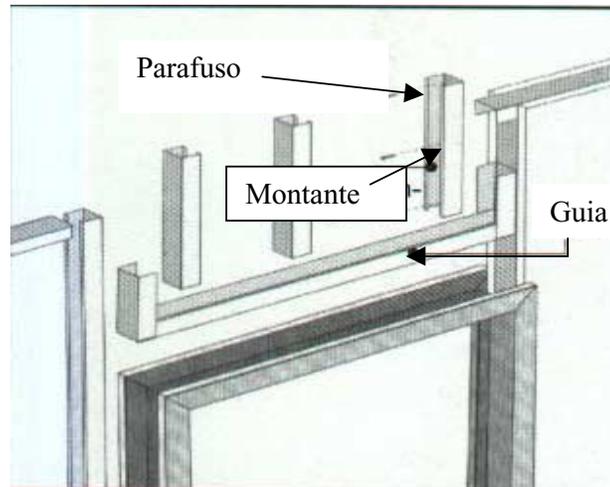


Figura 4.14 – Fixação da verga da porta (Lafarge Gypsum, 1999 a)

Pode haver a necessidade de reforço dos montantes e guia que ficam em contato com o batente da porta com peça de madeira posicionada internamente ao montante (figura 4.15) ou com perfil metálico da guia envolvendo o montante.

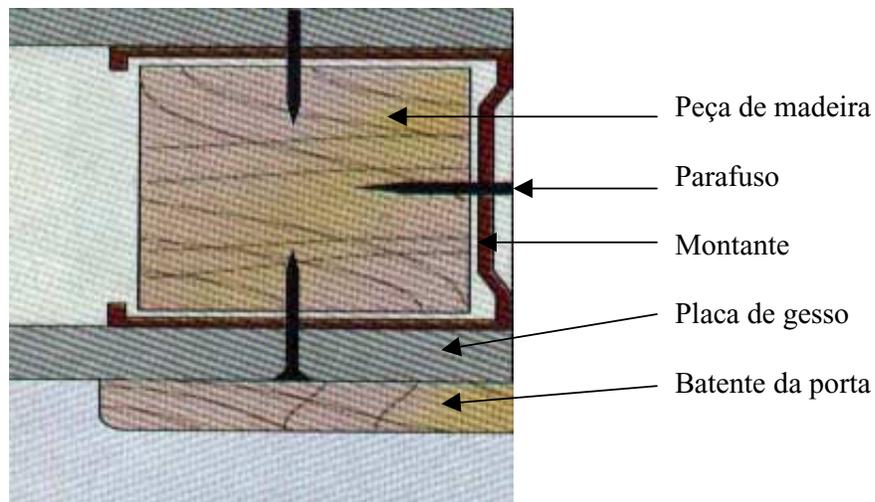


Figura 4.15 – Reforço do montante com peça de madeira (Lafarge Gypsum, 1999 a)

4.6.3 Fixação das placas de gesso

Para fixação dos painéis, a altura dos mesmos deve ser 1 cm menor que o pé direito. Estes painéis devem ser fixados ao teto, deixando um espaço de 1 cm no piso (figuras 4.16 e 4.17). Neste espaço, pode-se colocar um selante acústico ou fixar o rodapé.

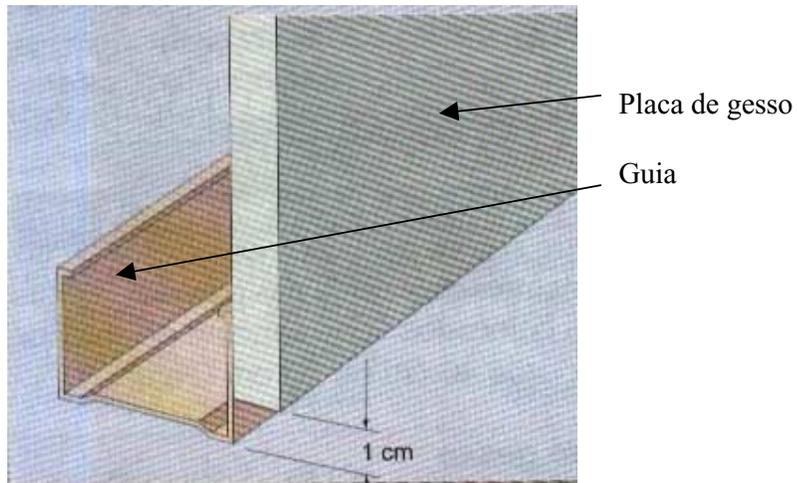


Figura 4.16 – Distância recomendada entre o piso e o painel (Mitidieri Filho, 1997)

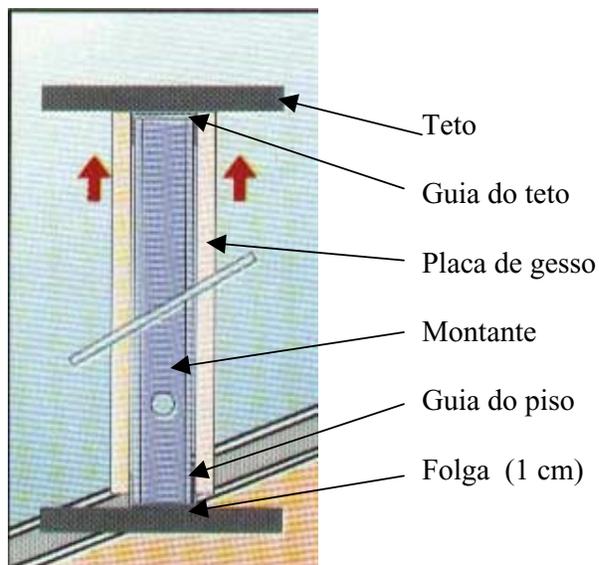


Figura 4.17 – Espaço existente entre o piso e o painel (Lafarge Gypsum, 1999 a)

As juntas entre as placas de um lado da parede devem ser desencontradas em relação as do outro lado, como representado na figura 4.18. Em se tratando de paredes com chapas duplas, as juntas da segunda camada devem ser defasadas da primeira (Mitidieri Filho, 1997), figura 4.19. As juntas entre os painéis devem ser sempre sobre montantes, figura 4.20.

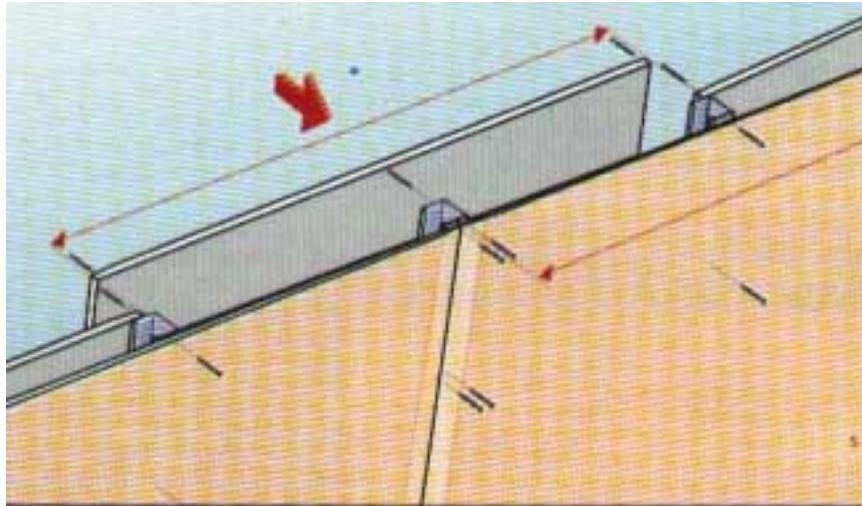


Figura 4.18 - Esquema de montagem dos painéis aos montantes (Lafarge Gypsum, 1999 a)

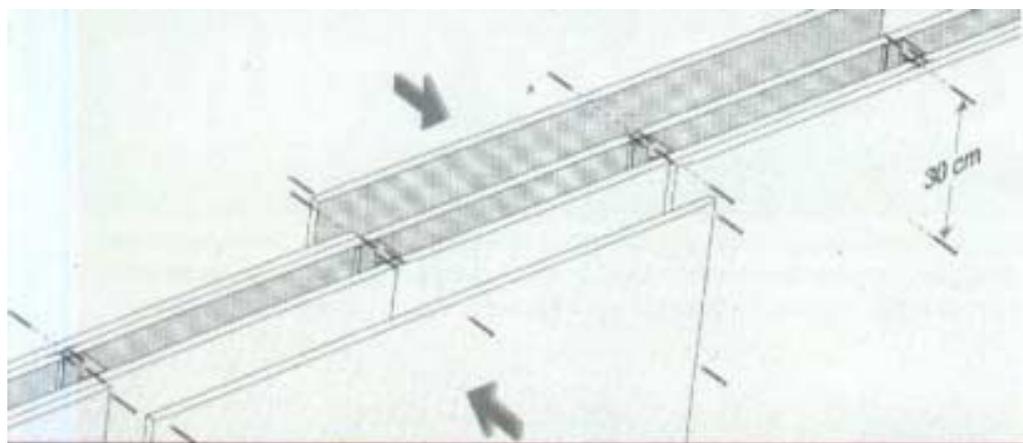


Figura 4.19 - Esquema de montagem dos painéis em camadas duplas (Lafarge Gypsum, 1999 a)

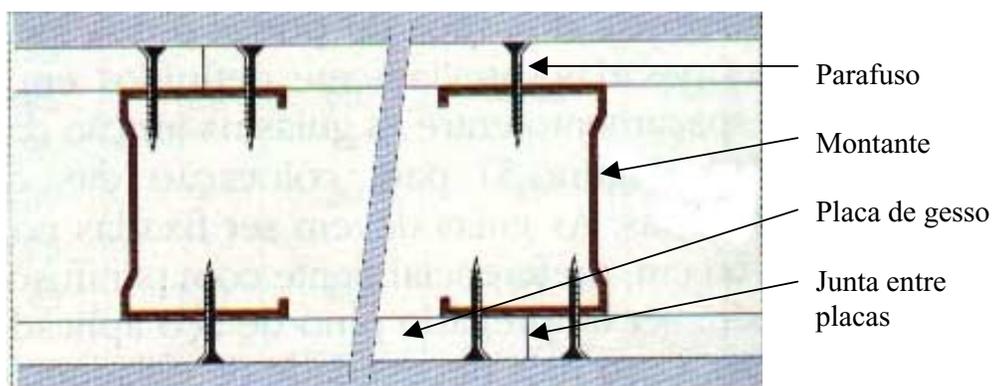


Figura 4.20 - Fixação dos painéis aos montantes (Mitidieri Filho, 1997)

As placas devem ser parafusadas aos montantes, com espaço menor de 30 cm entre os parafusos e, no mínimo, a 1 cm da borda da chapa. Quando os montantes forem duplos, parafusa-se alternadamente sobre cada montante (Mitidieri Filho, 1997). Ao se parafusar os painéis, deve-se evitar que a cabeça do parafuso penetre demais na placa ou não ocorra a penetração total do mesmo, ou ainda, que ele seja introduzido um pouco inclinado. O aparafusamento correto permitirá o bom acabamento do revestimento que será aplicado sobre o painel.

Após colocação das chapas em um dos lados da parede, procede-se à execução das instalações elétricas e hidráulicas e fixação dos pontos de luz e água, certificando-se, posteriormente, do correto posicionamento dos mesmos. É nesta fase que se deve instalar os reforços, previstos em projeto, para a fixação das pias, bojos e armários pesados, como exemplificados nas figuras 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24. Para tal, deve-se fixar, inicialmente, o lado da parede que receberá tais cargas, para posterior fixação dos elementos acima mencionados. Nesta mesma etapa, são colocados lâ de vidro ou de rocha, para melhor isolamento acústica e térmica. Após esta fixação, coloca-se as placas do outro lado da parede.

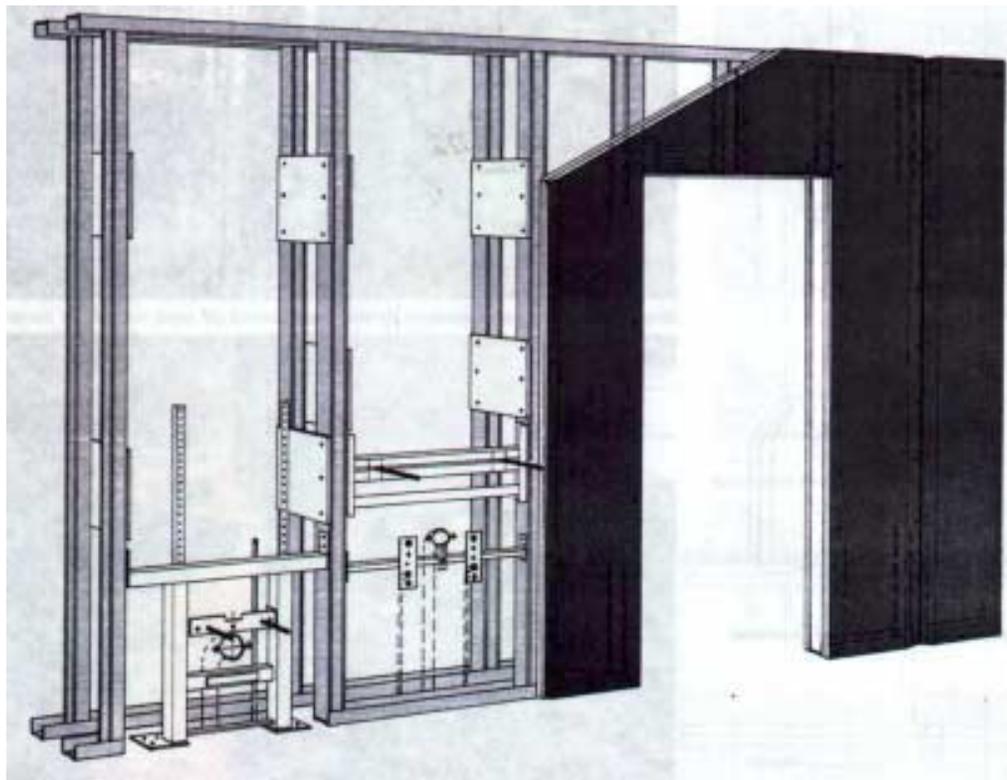


Figura 4.21 - Reforços para fixação da pia e vaso sanitário, além do esquema estrutural dos montantes, guias e painéis (Knauf, 1999 b)

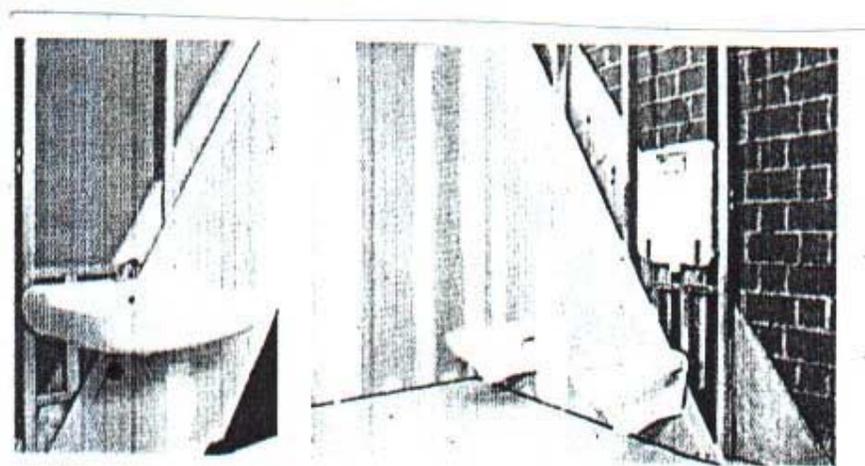


Figura 4.22 – Fixação da pia, vaso e bidê aos reforços da estrutura (Knauf, 1999 b)

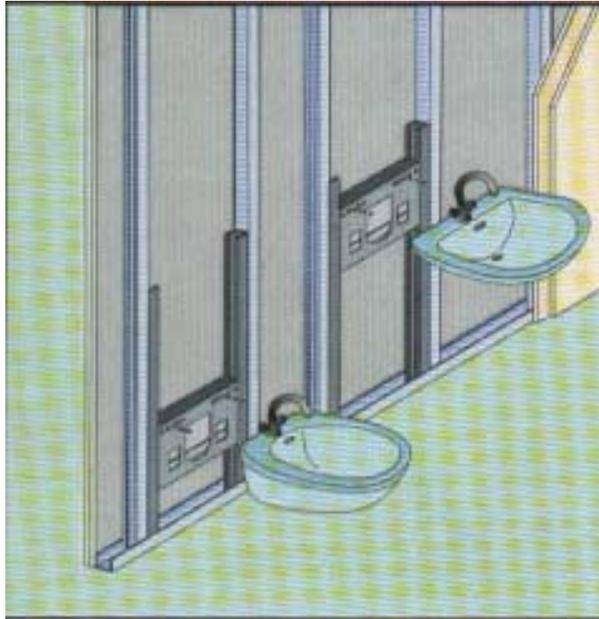


Figura 4.23 - Fixação dos vasos por incorporação de suportes (Lafarge Gypsum, 1999 a)

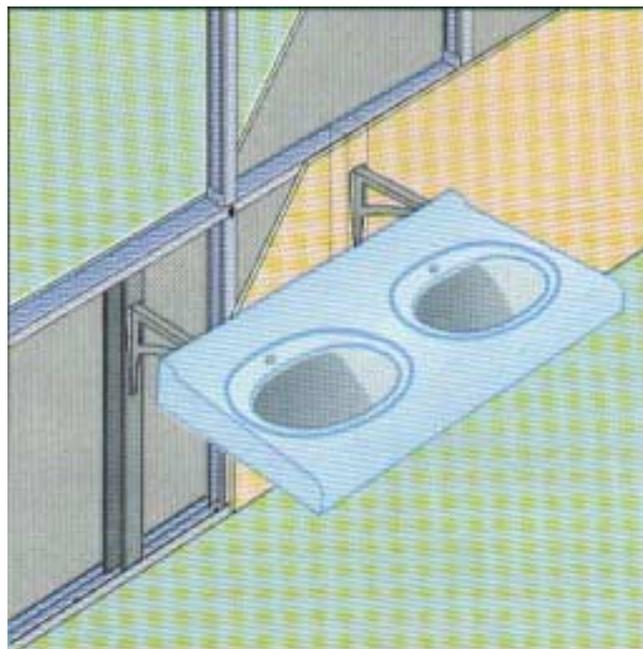


Figura 4.24 - Fixação de móveis de cozinha através de suporte metálico fixado à estrutura da parede (Lafarge Gypsum, 1999 a)

Em alguns casos, não há necessidade de reforço, podendo ser as peças fixadas diretamente aos painéis através de ganchos em X ou buchas (figura 4.25), desde que as peças que são suportadas pelos ganchos não ultrapasse à cargas de 10 kg por ponto de fixação. Como exemplos, tem-se: quadro, espelho pequeno, espelho com moldura, prateleira pequena etc. Com cargas de até 30 kg por ponto, a fixação poderá ser feita diretamente ao painel através de parafusos com bucha de expansão ou basculante, como demonstra a figura 4.26. São exemplos destas cargas, armários de banheiro, vitrine, prateleiras, trilho para cortina etc.

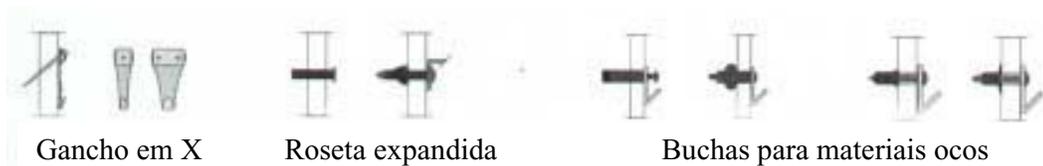


Figura 4.25– Exemplo de ganchos e buchas (Lafarge Gypsum, 1999 a)

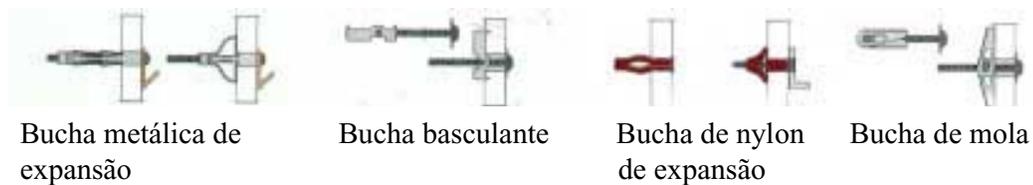


Figura 4.26 – Parafusos com bucha de expansão ou basculante (Lafarge Gypsum, 1999 a)

Entre as chapas de gesso acartonadas é feito o tratamento das juntas com uma primeira aplicação de massa de rejuntamento (traço 1:1) sobre a região da junta. Em seguida, coloca-se a fita de papel reforçado (papel *craft* micro-perfurado) sobre o eixo da junta, impregna-se com massa e pressiona-se firmemente, de forma a eliminar o material excedente com a espátula. O acabamento da junta é feito com desempenadeira metálica, de modo que a massa de rejuntamento fique faceando a superfície das chapas de gesso contíguas. Após a secagem (geralmente depois de 2 horas), dá-se o acabamento final na

junta aplicando uma fina camada de massa com desempenadeira metálica, como representado na figura 4.27.

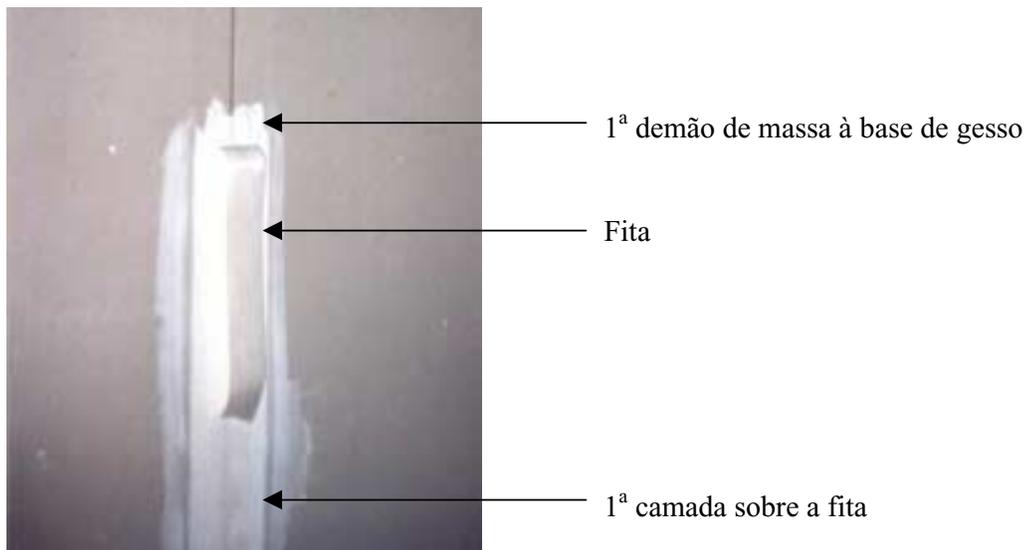


Figura 4.27 – Esquema do tratamento de juntas entre painéis

A fixação dos encontros das paredes em T ou L podem ser vistas nas figuras 4.28 e 4.29 e o tratamento entre as juntas podem ser feitos através de fita de papel reforçado e a massa de rejuntamento. Os encontros externos devem ser protegidos da ação de choques mecânicos adotando-se perfis metálicos especiais ou fitas de papel com reforço em chapa de aço, ou mesmo com perfis curvos (Mitidieri Filho, 1997) como representado na figura 4.30.

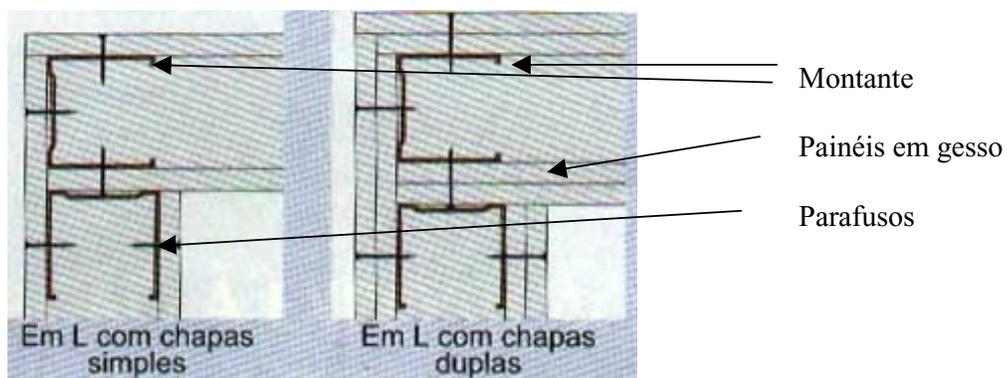


Figura 4.28 – Fixação de encontro de paredes (Mitidieri Filho, 1997)

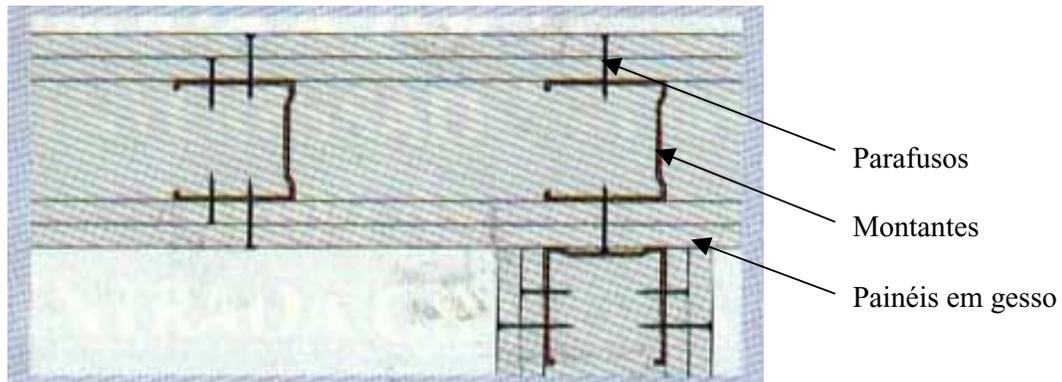


Figura 4.29 – Fixação de encontro de paredes em T (Mitidieri Filho, 1997)



Figura 4.30 – Reforço de canto utilizando perfis metálicos curvos (Mitidieri Filho, 1997)

Para ambientes expostos à ação de água (cozinha, banheiro e área de serviço), utiliza-se placas especiais hidrófugas prevendo-se ainda detalhes especiais de impermeabilização no encontro da placa com o piso. Estas placas, resistentes à água, são parcialmente fabricadas no Brasil e possuem um custo cerca de 15% superior às placas comuns. Os cuidados anteriormente descritos são para evitar contato de água com a chapa de gesso, figura 4.31. Deve-se revestir tais paredes com azulejo ou pintura impermeável, principalmente em box de banheiros, além de barras impermeáveis sobre tanques, pias e lavatórios.

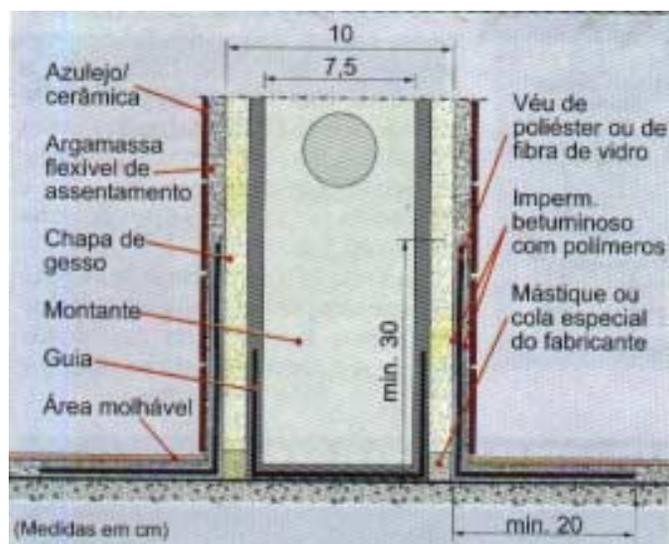


Figura 4.31 – Tratamento de áreas molháveis (Mitidieri Filho, 1997)

No caso de paredes curvas, procede-se a fixação dos montantes como representado na figura 4.32. As placas são posicionadas horizontalmente (diferente de paredes retas, cujas placas são fixadas verticalmente), havendo a necessidade de que as mesmas sejam umidecidas para conformação das curvas. Pode-se, com isso, obter raios significativamente pequenos, com até 30 cm, dependendo do fabricante.

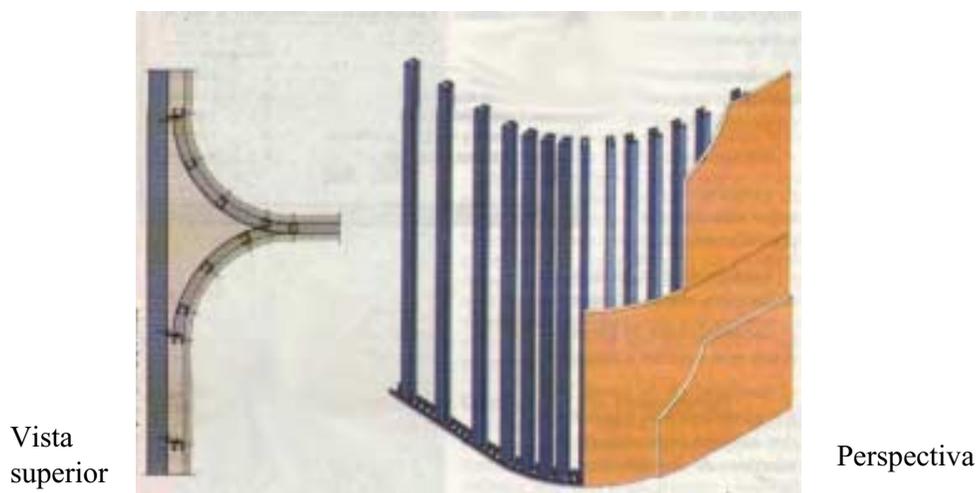


Figura 4.32 – Vista superior e perspectiva da disposição da guia, montantes e placas (Souza, 1995)

4.6.4 Acabamento

Após a fixação dos painéis e observados o tratamento entre as juntas e cantos, inicia-se o revestimento das placas, seja através de pintura (desde que a tinta não seja diluída), seja com azulejo ou cerâmica (utilizando argamassa colante especial, ou seja, com teores mais elevados de resina, permitindo maior flexibilidade e aderência sobre o cartão) ou até mesmo pinturas com texturas. No caso de pinturas lisas, pode haver a necessidade de aplicar massa corrida ou acrílica, dependendo do acabamento desejado.

4.7 Opções de montagem dos painéis

São inúmeras as possibilidades de montagem do sistema em estudo. No entanto, enumeramos 3 possibilidades básicas que vão ser definidas de acordo com as necessidades de uso dos mesmos.

4.7.1 Parede de divisão interna

A parede de divisão interna é constituída por 2 painéis de um lado e apenas 1 no outro. Esta solução é normalmente utilizada quando a face da parede com 2 chapas fica voltada para o lado da circulação da edificação. Caso esta parede seja divisória interna entre ambientes onde não haja circulação, bastará um painel de cada lado da parede, figura 4.33. Os montantes e as guias são em aço galvanizado. Os materiais mais comuns utilizados como isolamento termo-acústico são a lã-de-vidro e a lã-de-rocha.

4.7.2 Parede de elevado desempenho acústico

A parede de alta performance acústica é constituída por duas camadas de painéis de gesso acartonado em cada face da parede. Cada montante fixa uma face desta parede e o material isolante acústico passa entre o montante e o painel, figura 4.34.

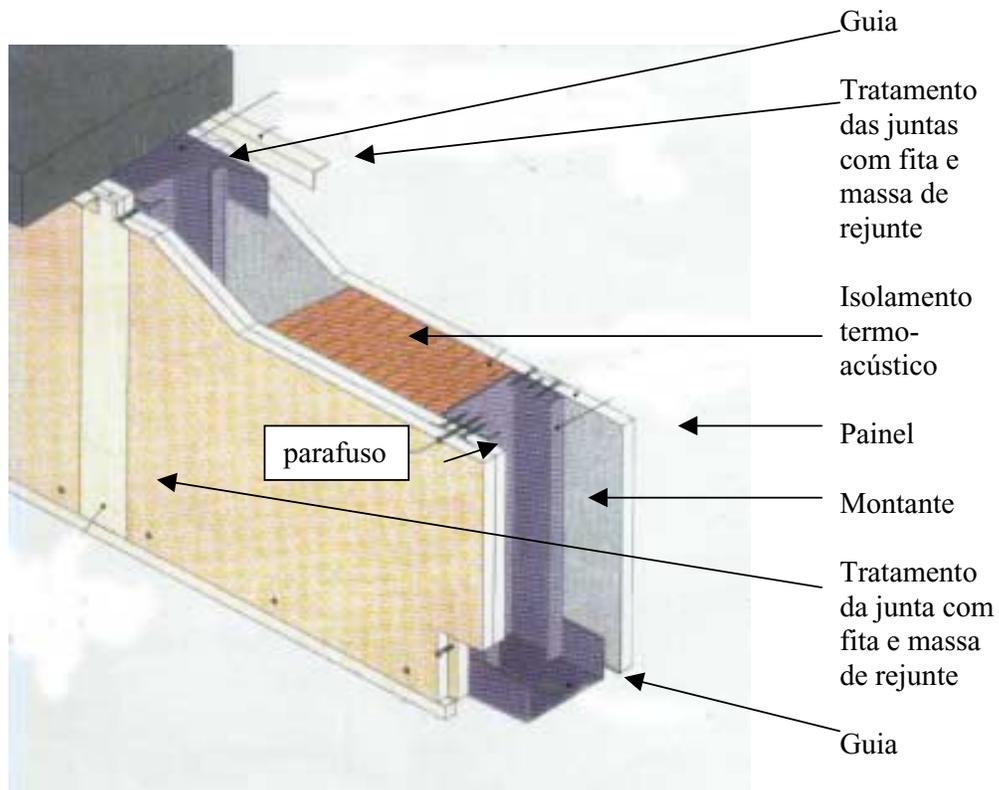


Figura 4.33 – Parede de divisão interna (Lafarge Gypsum, 1999 b)

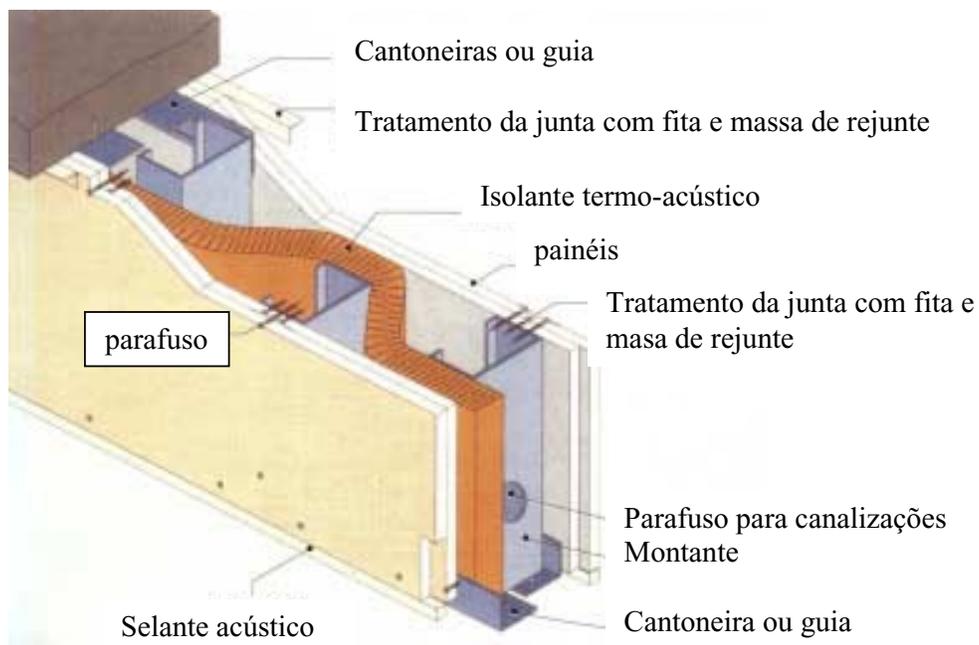


Figura 4.34 – Parede de elevado desempenho acústico (Lafarge Gypsum, 1999 a)

4.7.3 Parede de pé direito acima de três metros

A disposição da parede de pé direito acima de 3 m é representada na figura 4.35, existindo dois conjuntos de guias e montantes paralelos, além do material de isolamento acústico entre as duas camadas de painéis.

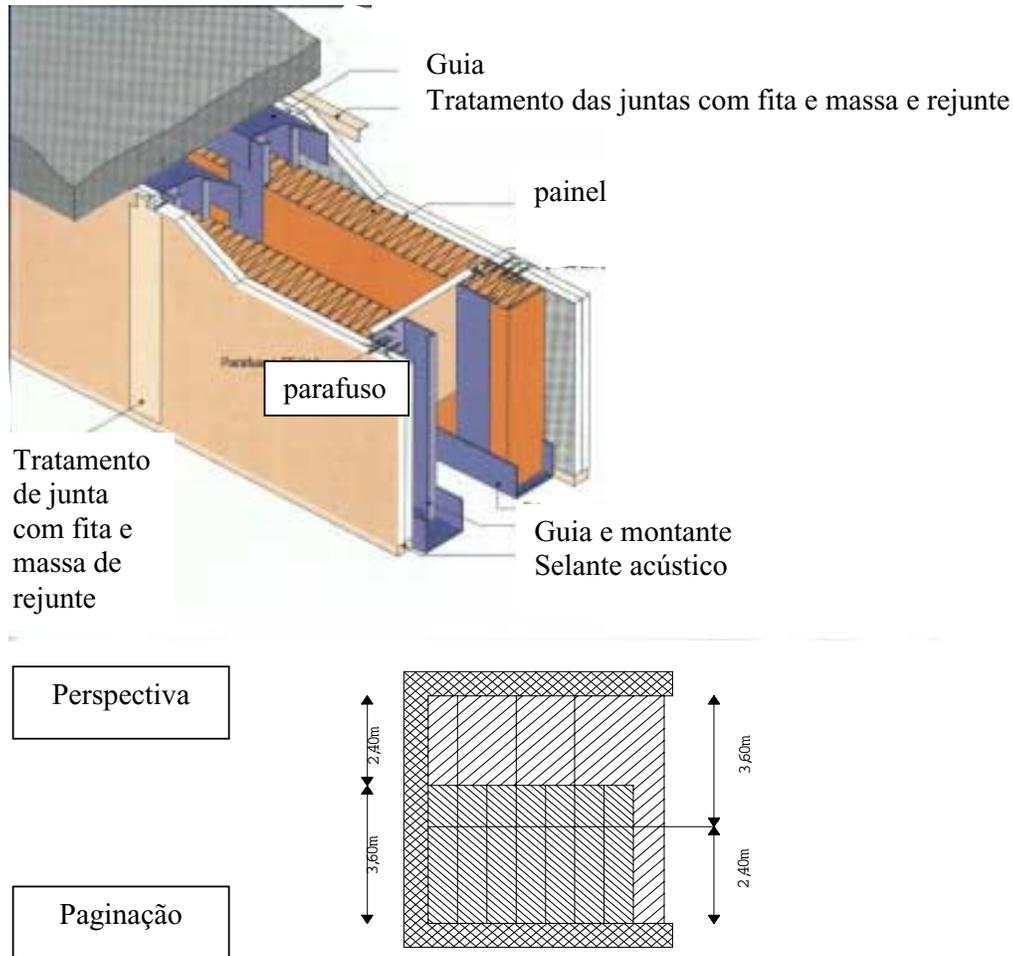


Figura 4.35 – Perspectiva e paginação da elevação frontal de paredes de pé direito acima de 3 m (Lafarge Gypsum, 1999 a)

Os exemplos descritos anteriormente são um exemplo de três tipos básicos de paredes, podendo haver uma infinidade de combinações entre painéis e posicionamento dos montantes e guias.

5. PAINÉIS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO

Os painéis descritos neste item são compostos de concreto celular autoclavado e são definidos pela NBR 13.438 da Associação Brasileira de Normas Técnicas como sendo um concreto leve obtido através de um processo industrial, constituído de materiais calcáreos (cimento, cal ou ambos) e materiais ricos em sílica, granulados finamente. Esta mistura é expandida através da utilização de produtos formadores de gases, água e aditivos, se for o caso, sendo submetidos à pressão e temperatura através de vapor saturado. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas uniformemente.

O concreto celular autoclavado está classificado, de acordo com a Associação Internacional de Concreto e Cimento (Cement and Concrete Association) (1970), como sendo um concreto aerado com formador de gás, dentro da classificação de concretos leves. Sua estrutura interna, em comparação com os demais tipos, está representada na figura 5.1.

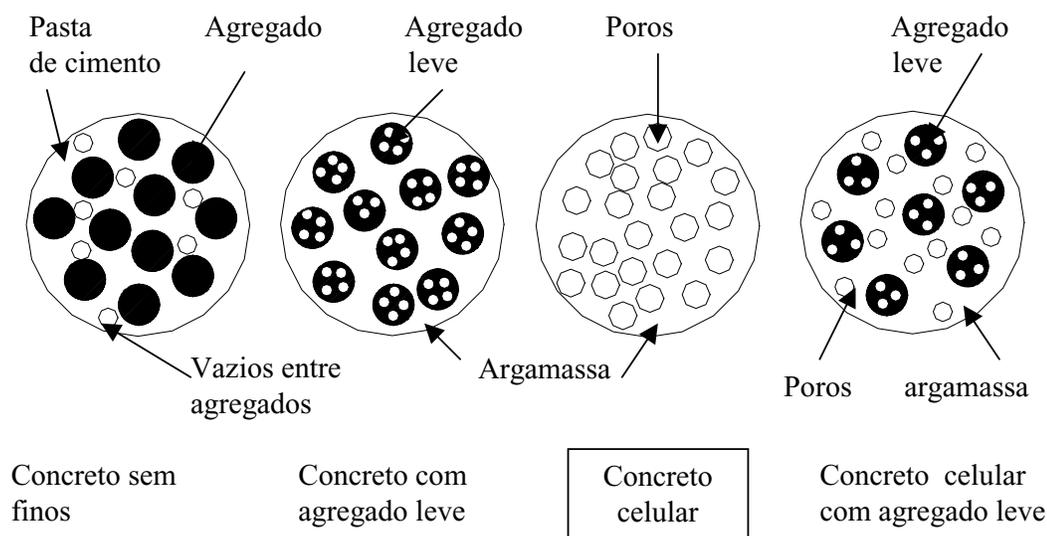


Figura 5.1- Estrutura interna dos tipos de concreto leves (Costa, 1995)

5.1 Composição do material

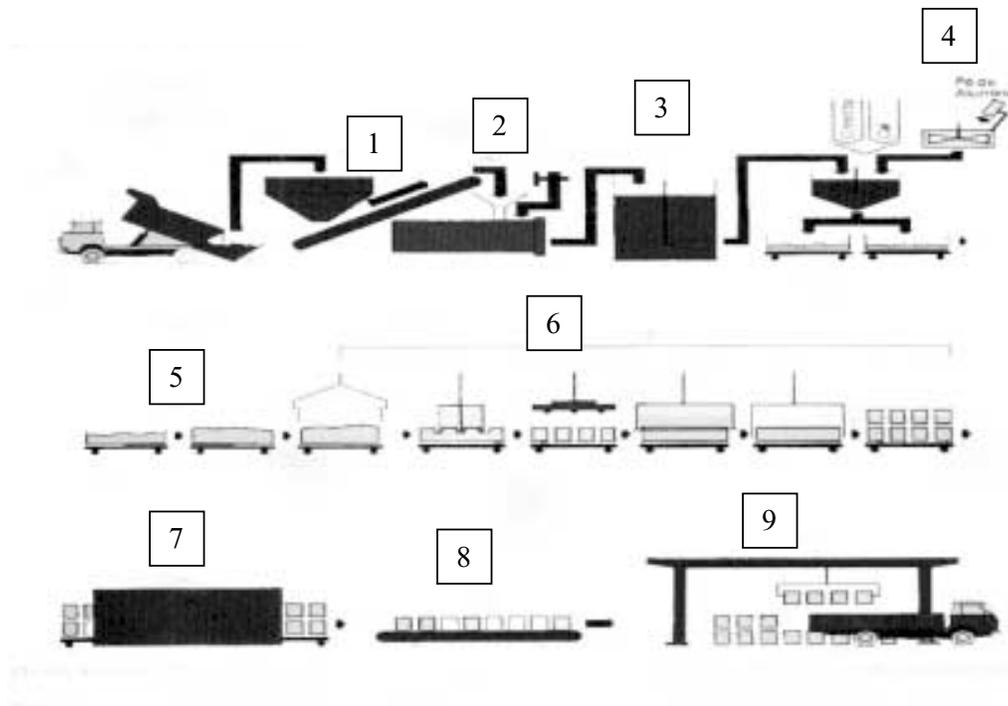
Como já definido anteriormente, o concreto celular autoclavado é constituído por aglomerante (cimento e/ou cal), material rico em sílica, agente formador de gás ou agente espumoso e água. O aglomerante é o responsável pelo endurecimento do concreto, interferindo no processo de fabricação, principalmente no tempo de pré-cura e sistema de corte, e é constituído de cimento e cal ou, em alguns casos, como o material da SICAL (SICAL, 1999), apenas o cimento como aglomerante, pois possuem pó de alumínio em sua mistura. O agregado mais utilizado é a areia com alto teor de sílica, sendo importante a redução dos inertes em partículas muito finas, pois as partículas mais grosseiras não se mantêm suspensas na pasta, durante a liberação do elemento gasoso, responsável pela formação da estrutura celular do próprio concreto (Costa, 1995).

Existem também, na composição do concreto celular, elementos químicos de formação de poros na estrutura do mesmo e podem ser obtidos através de produtos químicos que reagem na mistura liberando gases, ou através da inclusão de agente espumante que, através da agitação mecânica, origina a espuma (Costa, 1995). O pó de alumínio, mencionado anteriormente, é um dos produtos químicos utilizados para a liberação dos gases da mistura. Acrescenta-se ainda à mistura a água e adições, estas últimas com o objetivo de controle, bom andamento e qualidade de processo de fabricação e do produto final. Segundo Costa (1995), o concreto areado é um material originário dos países escandinavos (Suécia e Dinamarca), sendo que as principais tentativas de adotar métodos para a introdução dos poros nos concretos leves datam de 1890. Em 1924, na Suécia, o arquiteto Johan Axel Eriksson desenvolveu o processo mais utilizado até nossos dias, o qual consiste na introdução de um produto químico que, reagindo junto à mistura, libera o gás responsável pela alta porosidade do material. Já na Dinamarca, Meanwhite, Christiani e Nielsem desenvolveram o concreto areado e sua produção em escala comercial iniciou em 1928. Na União Soviética, utilizando o processo desenvolvido na Suécia, foram introduzidos os primeiros painéis de concreto espumoso, mais precisamente em 1938.

Até a Segunda Guerra Mundial (1945), o concreto aerado era utilizado basicamente nos países escandinavos, e a sua utilização em outros países passou a ser mais difundida no período compreendido entre 1945 e 1967. É nesta época que se instala, mais precisamente na década de 60, a primeira fábrica de concreto celular autoclavado no Brasil, apresentando inicialmente desempenho insatisfatório, pois não tinham sido adaptados ao clima e cultura construtiva brasileira.

5.2 Fabricação

A fabricação tanto de blocos como painéis de concreto celular autoclavado consiste das etapas de moagem da areia, pesagem dos materiais constituintes, mistura dos materiais constituintes, moldagem, corte, cura e armazenamento. A figura 5.2 representa o diagrama do processo de fabricação de painéis de concreto celular.



1 – Silo de areia; 2 – moagem da areia; 3 – tanque para homogeneização da mistura; 4 - dosagem e mistura das matérias-primas; 5 – expansão e pré-cura; 6 – corte; 7 – cura definitiva em autoclave; 8 – correia transportadora; 9 - carregamento

Figura 5.2 – Diagrama do processo de fabricação do concreto celular autoclavado (Sical, 1999)

5.2.1 Moagem da areia

Existem dois processos da moagem da areia, a saber; por via seca (moagem a seco da areia em moinhos e armazenamento em silos junto como o cimento e a cal) e por via úmida (moagem preliminar em um britador para posterior moagem em moinho giratório junto com água e bolas metálicas). Este segundo processo de moagem é o mais utilizado pois o primeiro processo gera pó que apresenta riscos à saúde. Esta fase é importante pois a uniformidade na moagem das partículas determina produtos com características homogêneas (Costa, 1995).

5.2.2 Dosagem dos materiais constituintes

Nesta fase de dosagem dos materiais há o controle rígido da quantidade de material que é utilizado para composição do concreto celular e das características de cada composto (o teor de Ca O, MgO e granulometria da cal, por exemplo).

5.2.3 Mistura dos materiais constituintes

Segundo Costa (1995), em certas empresas, o alumínio armazenado no silo, a lama do tanque da homogeneização, a cal, o cimento e a água são adicionados em um misturador que está interligado diretamente com os silos e o tanque de homogeneização através de tubulações. A quantidade de material a ser liberado dos silos de estocagem e do tanque de homogeneização para o misturador é determinada em função de dose pré-estabelecida.

5.2.4 Moldagem

Após a mistura há o preenchimento dos moldes metálicos até meia altura geralmente, havendo uma posterior expansão volumétrica gerada pela reação química do pó de alumínio com o hidróxido de cálcio da cal, completando a altura dos moldes.

5.2.5 Corte

Após a moldagem e a pré-cura da argamassa, as faces laterais dos moldes são retiradas. Na sequência, há o corte preliminar das bordas laterais e do topo do bloco para posterior remoção deste material. Em seguida, ocorre o corte transversal do material através de um conjunto de arames de aço paralelos e tensionados cujo movimento se assemelha ao de uma serra de carpinteiro. Concluído o corte transversal, segue-se o corte longitudinal da mesma maneira em equipamento específico.

5.2.6 Cura

Após o corte, procede-se a cura do material através de equipamentos que forneçam alta pressão e temperatura (as autoclaves) e que possibilitam a realização de reações químicas que produzem o silicato de cálcio hidratado, principal agente responsável pelas características do produto final.

5.2.7 Armazenamento

Ao sair das autoclaves, os painéis são submetidos ao controle de qualidade de produção após atingir a temperatura ambiente (3 a 4 horas depois de serem retirados das autoclaves). Após serem aceitos pelo controle de qualidade, são encaminhados ao consumidor depois de 48 horas de armazenamento em pátios protegidos e cobertos, evitando o contato do material com as intempéries que podem diminuir o potencial de retração de secagem.

5.3 Juntas

Basicamente os painéis em concreto celular autoclavado devem ser tratados como alvenaria desvinculada, separando o material da estrutura através de argamassa flexível e utilizando conectores, representados na figura 5.3, cantoneiras ou chapas dobradas (figura 5.4) para fixação do painel à estrutura. As figuras 5.5 e 5.6 exemplificam a

fixação de painéis no sentido horizontal utilizando conectores específicos e a figura 5.7 representa a fixação do painel através de dois modos na laje *steel deck*.

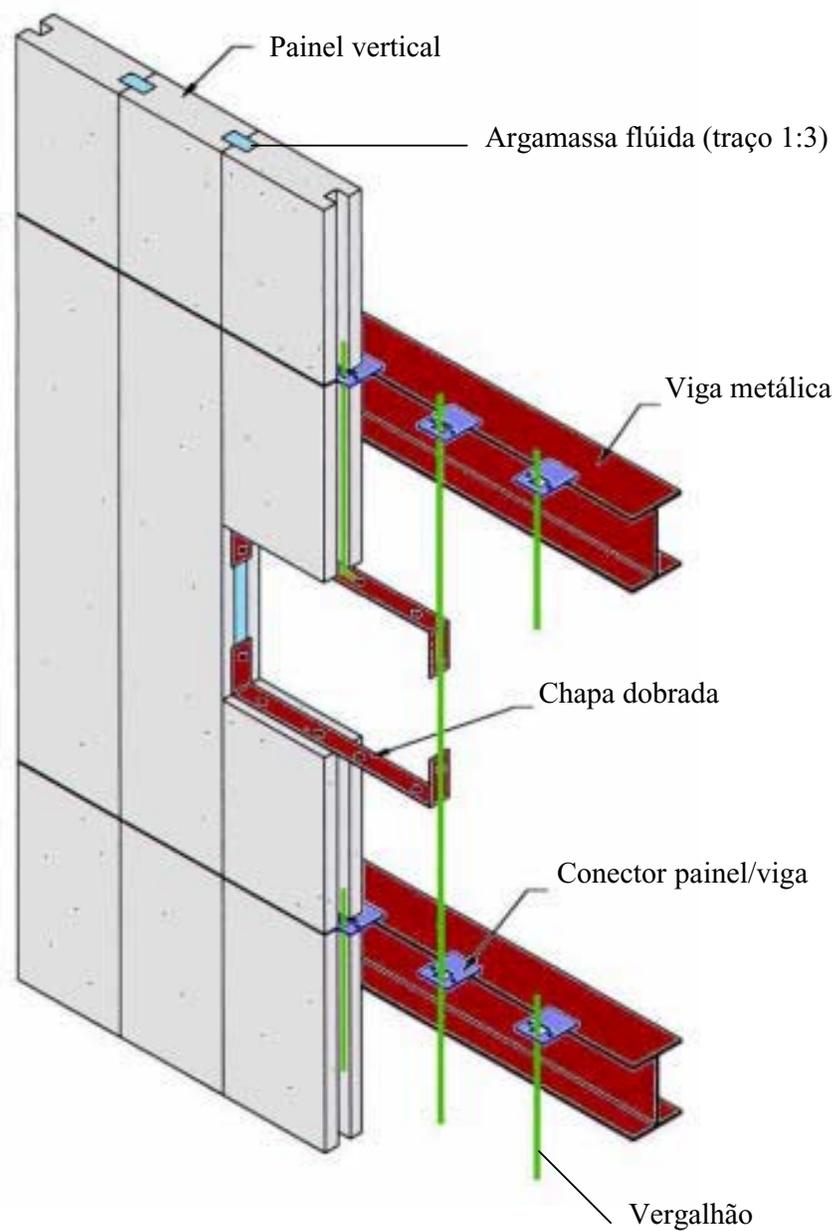


Figura 5.3 - Detalhe de fixação do painel à estrutura utilizando conectores (Sical, 1999)

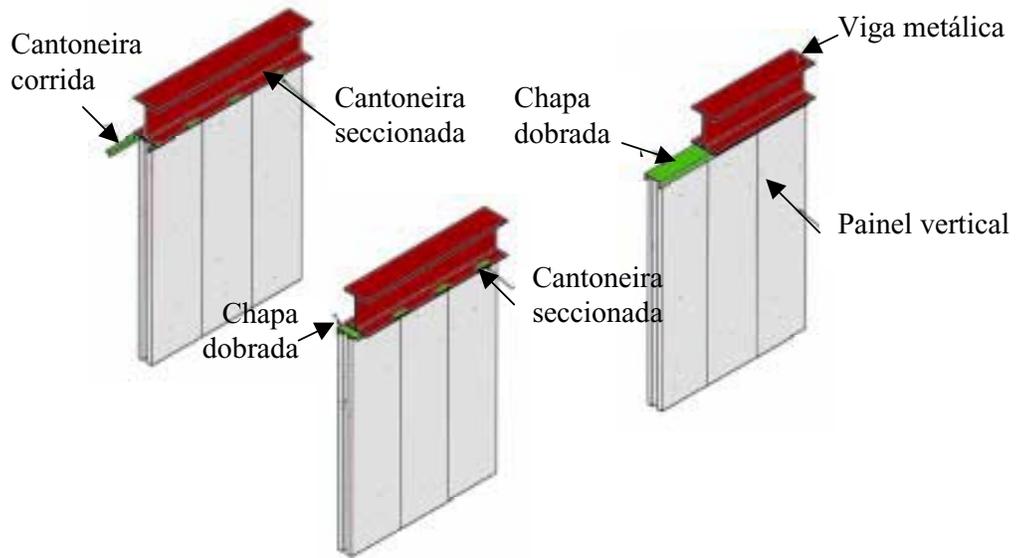


Figura 5.4 – Encontro dos painéis com o flange inferior da viga utilizando cantoneiras e chapas dobradas como elementos de fixação (Sical, 1999)

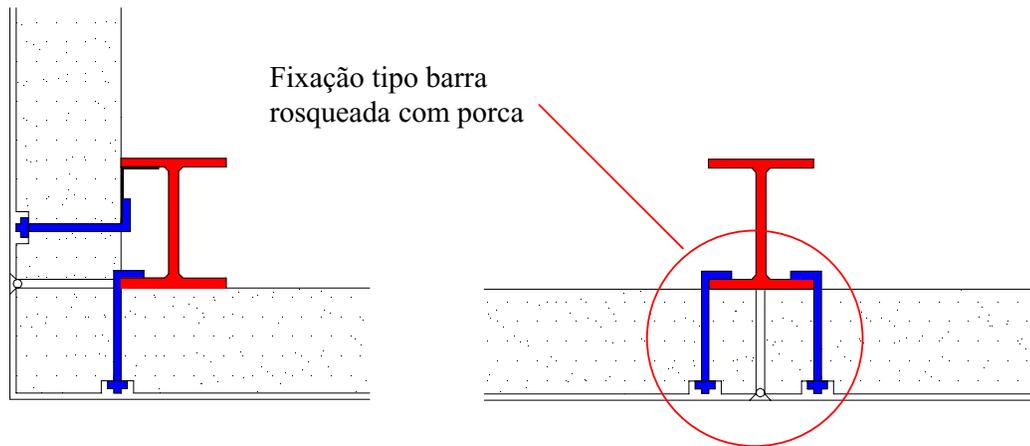


Figura 5.5 – Detalhe de fixação de painéis à estrutura dispostos horizontalmente (Sical, 1999)

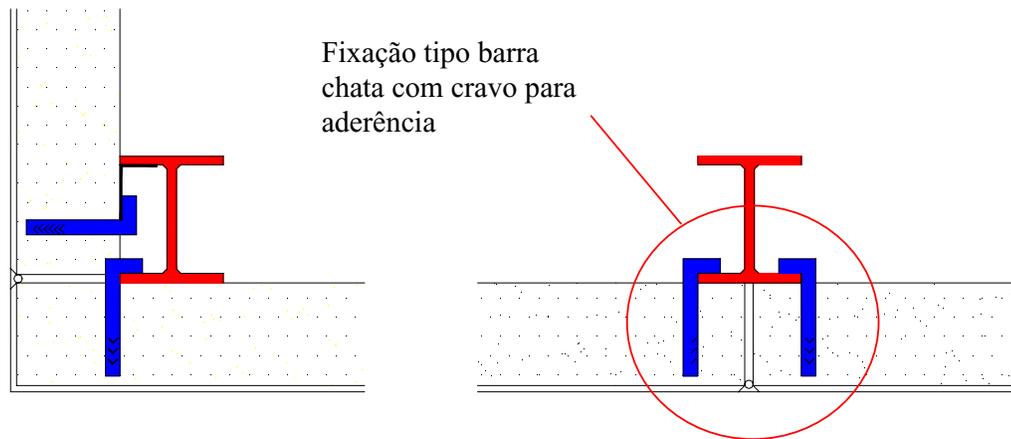


Figura 5.6 – Detalhe do conector de fixação do painel à estrutura metálica (Sical, 1999)

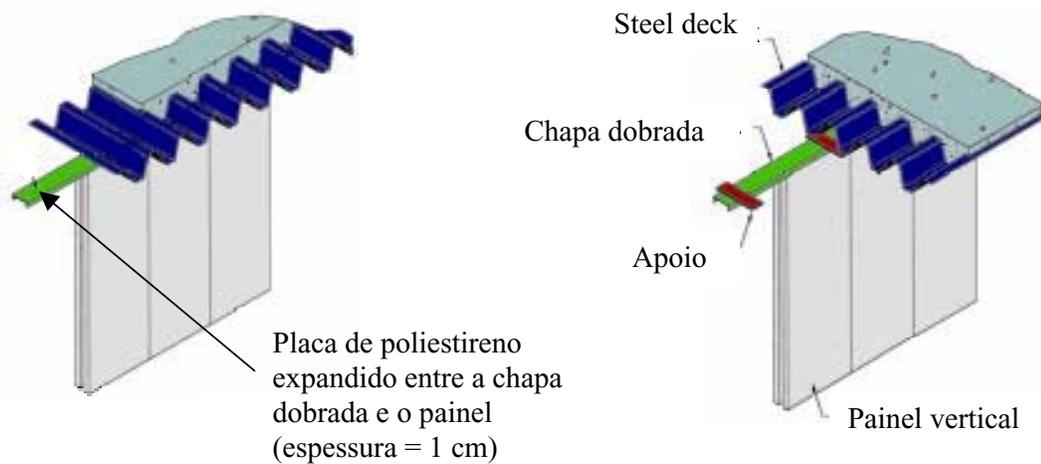


Figura 5.7 - Detalhe de fixação do painel às lajes tipo *steel deck* no sentido perpendicular e longitudinal do mesmo (Sical, 1999)

5.4 Acessórios

A figura 5.8 abaixo representa os acessórios básicos para a montagem dos painéis, demonstrando o uso de cada equipamento.

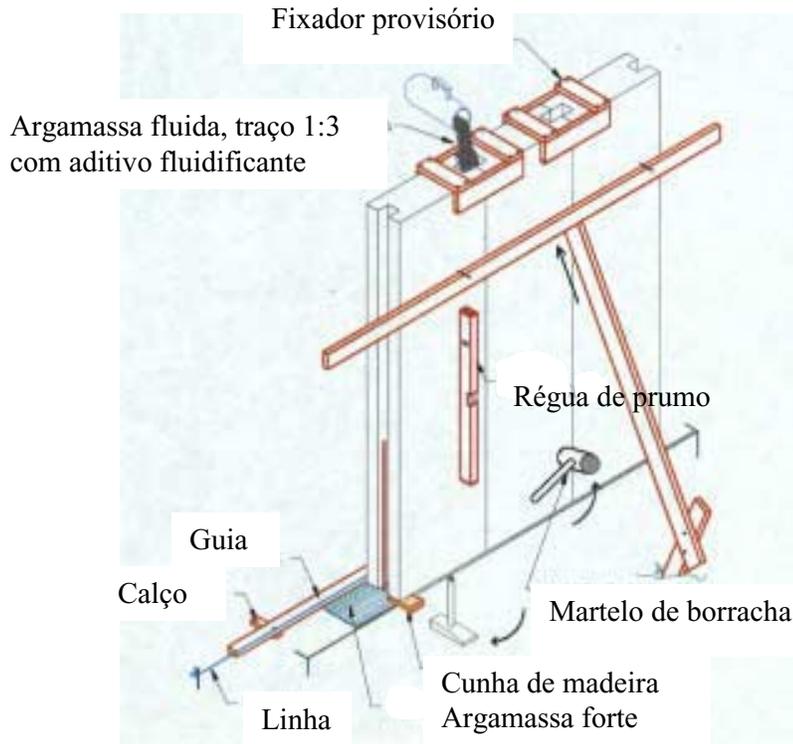


Figura 5.8 - Acessórios básicos para montagem dos painéis (Sical,1999)

A linha e a guia são acessórios utilizados para o posicionamento dos painéis junto ao piso e ao teto. A linha exerce a função de gabarito para a marcação da guia e esta, que pode ser um sarrafo de madeira, é utilizada para o correto alinhamento dos painéis. Uma argamassa forte é utilizada para a fixação dos painéis ao piso. Os painéis são temporariamente alinhados pelas guias, contudo, pode-se utilizar fixadores provisórios na parte superior dos painéis. Após ao correto posicionamento dos painéis, é colocado argamassa fluida entre os mesmos. A régua de prumo deve ser usada para verificar o correto alinhamento dos painéis e pequenos ajustes são feitos com martelo de borracha. A cunha de madeira é utilizada para pressionar o painel na laje do teto, sendo que entre estes é aplicado argamassa fluida.

5.5 Montagem do sistema

Para montagem do sistema de painéis de concreto celular autoclavado, deve-se seguir os seguintes passos: a marcação e fixação das guias, a preparação e aplicação da argamassa, o levantamento e cunhamento dos painéis e o acabamento de juntas e enchimento dos vazios sob os painéis.

5.5.1 Marcação e fixação das guias

Nesta etapa inicial, marca-se a posição das guias no teto e piso, levando-se em consideração a espessura dos painéis (figura 5.9). Estas guias podem ser sarrafos de madeira, cantoneiras metálicas ou chapas dobradas. Junto aos pilares metálicos, coloca-se uma cantoneira soldada em cada lado correspondente do painel, possibilitando maior amarração do mesmo, sem criar vínculo com a estrutura. Deve-se observar que os painéis devem ser cerca de 3 cm menores que os vãos entre pisos.

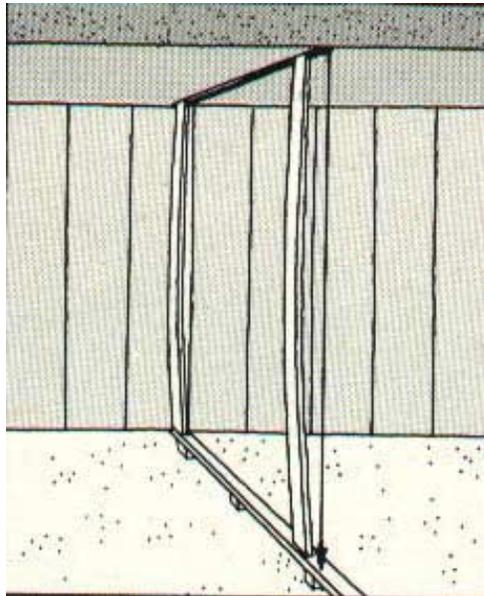


Figura 5.9 - Marcação da posição das guias (Siporex, 1999)

5.5.2 Preparação e aplicação da argamassa

Mistura-se a argamassa (cimento e areia no traço 1:3) a água para enchimento dos vazios sob os painéis, e cimento-cola para aplicação nas laterais e cabeceira dos mesmos. Caso o encontro entre painéis seja fêmea-fêmea (figura 5.3), deve-se utilizar argamassa flúida (traço 1:3).

5.5.3 Levantamento e cunhamento dos painéis

Levanta-se o painel com alavanca apropriada e pressiona-o no teto para que o cimento-cola, previamente aplicado sobre a cabeceira do painel, distribua-se de forma regular e correta, figura 5.10.



Figura 5.10 - Levantamento do painel com alavanca (Siporex, 1999)

Para o cunhamento, deve-se manter o painel pressionado contra o teto através da alavanca e introduzindo-se cunhas de madeira paralelas ao painel, como representado na figura 5.11.



Figura 5.11 – Cunhamento dos painéis (Siporex, 1999)

5.4.4 Acabamento de juntas e enchimento dos vazios sob os painéis

No acabamento de juntas e enchimento dos vazios sob os painéis, remove-se os excessos de argamassa e cimento-cola entre as juntas e procede-se à retirada das cunhas e o preenchimento dos vazios entre o piso com argamassa de cimento e areia no traço 1:3, como representado nas figuras 5.12 e 5.13. Os sobre-vãos das portas e janelas devem ser fixados da mesma forma que os painéis, não existindo, no entanto, o cunhamento. Para os batentes das portas, estes são fixados com buchas ou grapas que, por sua vez, devem ser cunhados no contra piso.

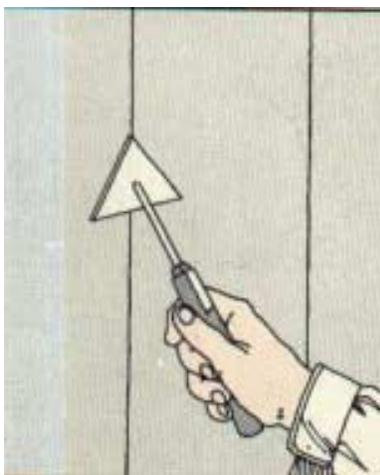


Figura 5.12 – Acabamento de juntas (Siporex, 1999)



Figura 5.13 – Enchimento dos vazios sob os painéis (Siporex, 1999)

5.6 Instalações

Para as instalações de tubulações de grandes diâmetros em painéis de concreto celular autoclavado, recomenda-se o uso de *shafts* ou a abertura de sulcos para a passagem de tubulações utilizando rasgador manual ou elétrico. Caso haja a opção do uso de sulcos, após a abertura dos mesmos, executa-se o envelopamento das tubulações de prumada com tela tipo *Deployee* (tela de estuque) ou de arame galvanizado, observando-se um espaço que deve ser deixado de 1,5 cm entre a tubulação e a face dos painéis. Preenche-se o vão, posteriormente, com argamassa no traço 1:3 (cimento e areia) e insere-se, no revestimento, tela metálica galvanizada, malha ½ polegada e fio 24, trespassando 20 cm de cada lado da abertura, como representado na figura 5.14. Estas observações somente são válidas para prumadas verticais pois, no caso de paredes compostas de painéis de concreto celular autoclavado, não há prumadas horizontais.

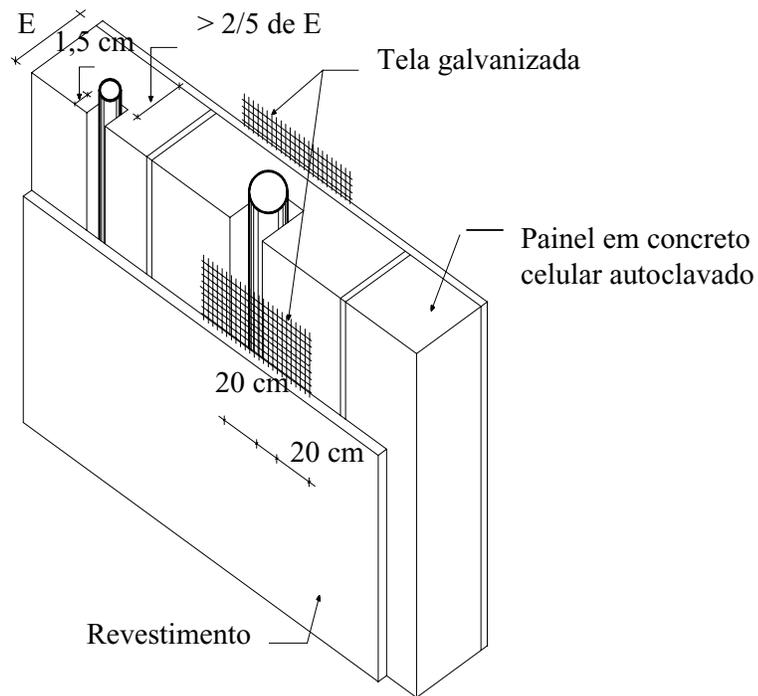


Figura 5.14 - Detalhe de embutimento de tubulação (Sical, 1999)

6. PAINÉIS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O poliestireno expandido ou expansível é um produto que foi desenvolvido por dois químicos, Fritz Atastny e Karl Buchholz, em 1949, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf na Alemanha. Este produto, caracterizado internacionalmente pela sigla EPS (padronização da ISO – International Organization for Standardization) é utilizado tanto para a construção civil quanto para outros fins, tais como proteção para embalagens. A primeira utilização é bastante difundida na Europa, onde 65% da produção de EPS é consumida pela construção civil, sendo aplicados na execução de alvenarias, painéis estruturais, isolantes térmicos de lajes ou até mesmo para substituição de solos de má qualidade em pontes e rodovias.

No Brasil, no entanto, este material é pouco utilizado na construção civil, representando apenas 4% da produção de EPS no país, limitando o uso em juntas de concretagem e caixão perdido em peças de concreto para redução do peso da estrutura e volume de concreto (figura 6.1).

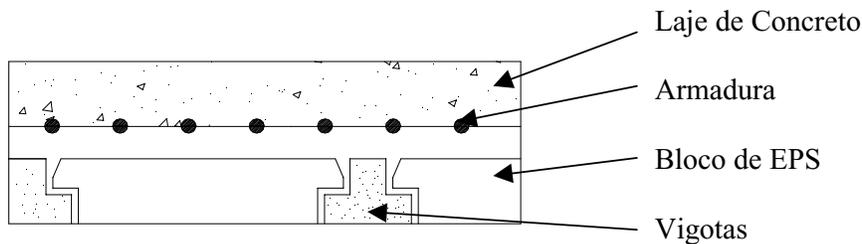


Figura 6.1 – Utilização de blocos EPS em caixão perdido (Souza, 1992)

Segundo Souza (1992), o EPS é um monômero polimerizado em meio aquoso, derivado do petróleo, recebendo uma adição de gás pentano, que é o agente expensor. Comercialmente, o EPS é encontrado em *pérolas* milimétricas, capazes de expandir até 60 vezes quando expostas ao vapor d'água. Tem-se como resultado uma espuma formada por 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Segundo dados dos fabricantes, em 1 m³ de EPS há de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar, que impedem a

passagem de líquidos como a água, mas permitem a circulação de gases por entre os interstícios das câmaras. Para o uso na construção civil, a microarquitetura do material permite uma leveza significativa, boa resistência mecânica e ótimas propriedades de isolamento térmica. Reciclados os blocos, placas e utensílios de EPS podem ser remoldados para aplicações que não exijam aparência e características mecânicas homogêneas, tais como caixões-perdidos para lajes (NBR 11752).

Neste trabalho, utiliza-se como exemplo de painéis com EPS a técnica desenvolvida na Itália, que consiste, basicamente, de uma alma composta de placa ondulada de poliestireno expandido com espessura de 55 mm entre duas malhas de tela de aço eletro-soldadas, vinculadas entre si por meio de passadores do mesmo material a elas soldados e revestidas com argamassa projetada, totalizando uma espessura de 100 mm de parede (figura 6.2). Esta técnica permite que o conjunto paredes/lajes trabalhem como um todo, fornecendo uma estrutura monolítica auto-portante. Daí seu desenvolvimento e utilização em áreas onde ocorrem abalos sísmicos na Itália, pois suas características conferem à edificação solidez de até 8 pavimentos sem a utilização de estruturas. No entanto, de acordo com o tema proposto neste trabalho, são analisados os mesmos junto às estruturas metálicas.

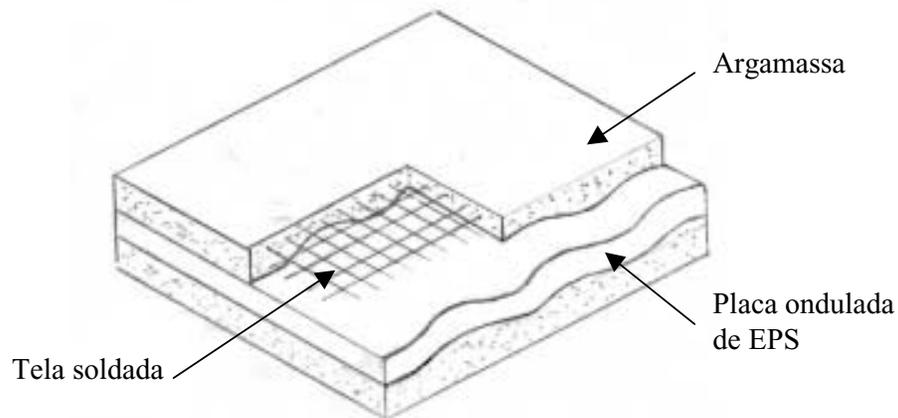


Figura 6.2 – Composição básica de painéis em EPS

O poliestireno é o principal responsável pelo isolamento térmico e, dependendo da região de uso do mesmo, sua espessura e massa específica podem variar para garantia do conforto térmico do usuário. Esta massa específica pode variar de 12, 13, 16 ou 25 kg/m³, desde que as condições climáticas e rigidez mecânica assim o exijam. Para obtenção de maior momento de inércia, separa-se mais as duas faces da argamassa armada; pode-se, ainda, criar barreiras de vapor utilizando filme de poliestireno ou pinturas impermeáveis que são incorporadas aos painéis durante sua fabricação. As telas são em aço de alta resistência, cujo diâmetro dos fios possui 2,5 mm e 3,5 mm, podendo ser galvanizado ou não. Os fios de 2,5 mm estão dispostos no sentido transversal e espaçados 130 mm, enquanto os fios de 3,5 mm estão dispostos no sentido longitudinal do painel e seu espaçamento é de aproximadamente 75 mm. As placas de poliestireno expandido possuem seção ondulada (figura 6.2), sendo que as cavas das ondas coincidem com os fios longitudinais, otimizando o funcionamento estrutural do painel, cujas dimensões são: largura de 1125 mm e comprimento variável (normalmente igual ao pé-direito ou a distância entre vigas), como representado na figura 6.3.

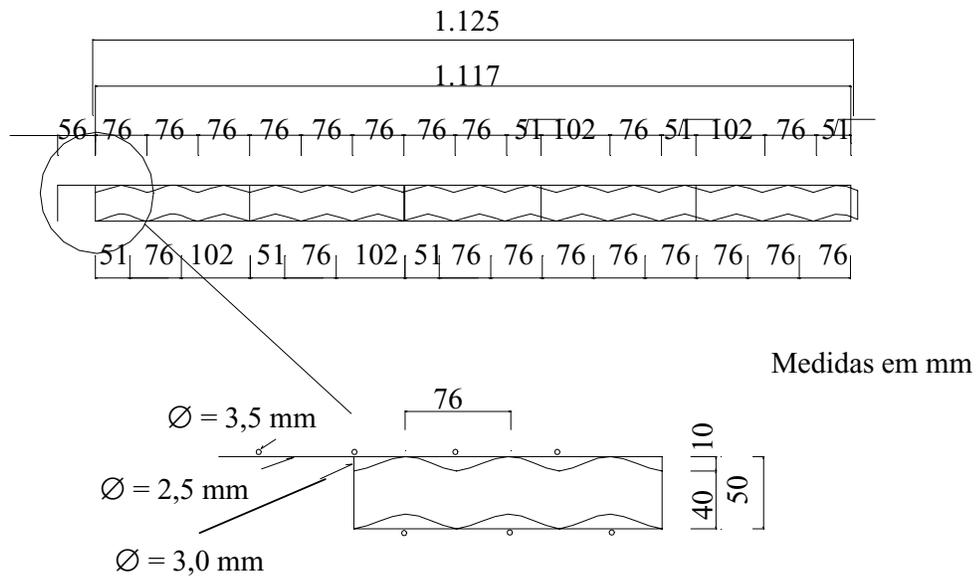


Figura 6.3 – Seção transversal do painel produzido pela Cabrine Monolite (IPT, 1992 b)

Outra variação deste sistema construtivo é o comercializado, entre outras empresas, pela empresa Hight Tech de São Paulo. Baseado em tecnologia norte-americana, este sistema consiste em painéis de EPS de 100 mm de espessura, com tela em aço CA 60 galvanizado de ambos os lados e distância entre fios de 50 mm. A largura é de 1200 mm e o comprimento é variável, se assemelhando ao sistema anteriormente mencionado. Para a fixação de um painel ao outro, deve-se proceder o trespasse de 100 mm de tela para cada placa, o mesmo acontecendo para as juntas entre o painel e as lajes de piso e cobertura (figuras 6.4 e 6.5). A espessura da argamassa projetada, em ambas as faces, deve ser de aproximadamente 25 mm.



Figura 6.4 – Trespasse da tela metálica no encontro do painel com a laje de piso



Figura 6.5 – Trespasse da tela metálica no encontro entre painéis

6.1 Equipamentos para instalação dos painéis

O equipamento básico para a instalação dos painéis consiste em uma betoneira para o preparo da argamassa, de projetores pneumáticos de argamassa, de um compressor, de régua de alumínio e de escoras metálicas com regulagem, de um gerador de ar quente (que pode ser substituído por um simples maçarico a gás), de ferramentas convencionais de obra e equipamentos de proteção. A figura 6.6 ilustra alguns destes equipamentos.

A estocagem dos painéis deve ser feita em local plano e afastado de atividade ou tráfego para evitar danos ao material. O tempo de estocagem a céu aberto não deve ser muito prolongado, o que poderia prejudicar a aderência da argamassa sobre a face exposta no topo da pilha, pois esta sofre com a deposição de pó e com os raios ultravioleta que amarelam a espuma

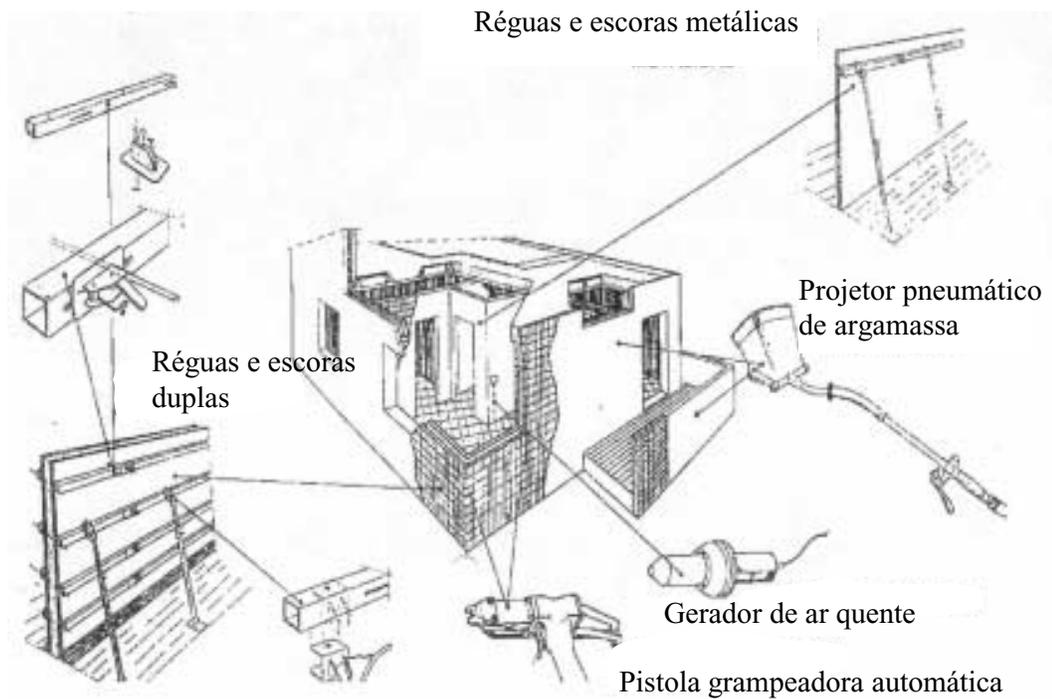


Figura 6.6 – Equipamentos para montagem do sistema (Abrapex, 1999)

6.2 Juntas

Por se tratar de um sistema monolítico, não há necessidade de juntas de dilatação. As juntas entre os painéis e a estrutura metálica são feitas utilizando-se ferro-cabelo soldado à estrutura e encaixados entre a tela e o painel, como representado na figura 6.7. Caso a estrutura não seja aparente, coloca-se uma tela de recobrimento e procede-se à projeção da argamassa (figura 6.8).



Figura 6.7 – Fixação dos painéis da High Tech à estrutura utilizando ferro cabelo

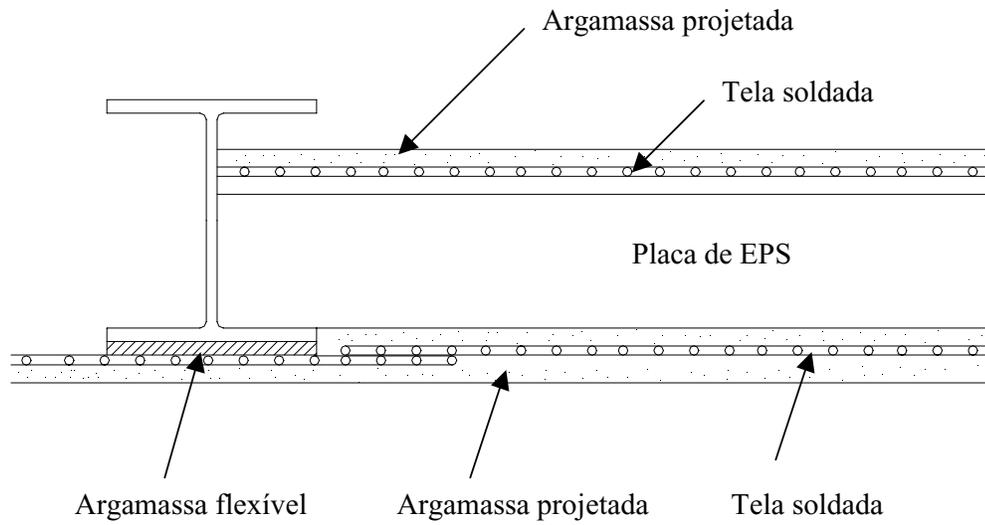


Figura 6.8 – Tela de recobrimento da estrutura

6.3 Montagem do sistema

A montagem do sistema segue as seguintes etapas: a fixação dos painéis, reforços dos cantos e encontros entre paredes, as instalações e o revestimento.

6.3.1 Fixação dos painéis

Para a fixação dos painéis à estrutura, deve-se proceder às observações já descritas no item 6.2. No caso da fixação entre dois painéis, deve-se trespassar uma tela metálica de um painel, que se sobrepõe à tela do painel vizinho. A fixação de uma tela junto a outra é feita apenas por amarração através de arame, solidarizando um painel junto a outro (figuras 6.9 e 6.10). O prumo e o alinhamento dos painéis são garantidos utilizando régua de alumínio, sendo fixado horizontalmente nos painéis cerca de 2 m do piso. Para garantir a verticalidade dos painéis, coloca-se escoras reguláveis na diagonal e perpendiculares à régua.



Figura 6.9 – Trespasse da tela metálica para fixação de um painel da High Tech junto a outro e amarração da tela com arame



Figura 6.10 – Detalhe da fixação do trespasse da tela metálica utilizando arame

6.3.2 – Reforços dos cantos e encontro entre paredes

Para o reforço dos cantos dos vãos de portas e janelas, coloca-se trechos de tela soldada fixados na diagonal, possibilitando absorções das tensões comuns nestes pontos e evitando eventuais trincas (figura 6.11). Para o reforço das vergas, é suficiente a colocação de vergalhões sobre as mesmas, fixados com arame junto a tela metálica (figura 6.12). No caso do reforço dos encontros entre paredes coloca-se cantoneiras também com a mesma tela soldada utilizada para os painéis, como ilustrado na figura 6.13.

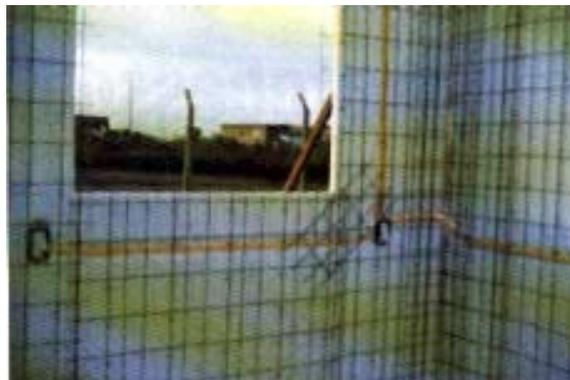


Figura 6.11 – Reforço dos cantos do vão da janela (Mammini, 1998)



Figura 6.12 – Reforço das vergas dos vãos de abertura



Figura 6.13 – Reforço de encontro entre paredes

6.3.3. Instalações

Segundo Mammini (1998), com a totalidade dos painéis e reforços instalados, a fase seguinte é o posicionamento das tubulações elétrica e hidráulica embutidas. Para tal, marca-se inicialmente, de acordo com o projeto, o traçado dos tubos com um simples *spray* e, em seguida, abre-se fendas para a passagem da tubulação. As fendas são abertas com um gerador de ar quente ou um maçarico a gás, que recebe um tubo metálico na ponta para cobrir a chama viva que poderá queimar o EPS. Com o ar quente, a espuma se funde com facilidade, como ilustrado na figura 6.14. Os tubos são colocados sob a malha e, através dela, montando-se todo o conjunto em pouco tempo (figura 6.15). As saídas de instalação hidráulica e as caixas de instalação elétrica devem ser fixadas na malha de aço e reguladas, para que fiquem no mesmo plano da face concluída do revestimento. Uma sofisticação admitida pelo sistema é o aterramento dessa malha, criando uma gaiola de Faraday. Concluídas as instalações das tubulações, pode-se iniciar o revestimento. Desta forma, é importante prever em projeto todas as instalações (elétrica, hidráulica, telefonia, etc) e sua correta compatibilidade com o projeto arquitetônico e estrutural, pois este sistema dificulta ou até mesmo inviabiliza improvisações e soluções de última hora.



Figura 6.14 – Uso de gerador de ar quente para abertura das fendas para passagem de dutos



Figura 6.15 – Colocação de dutos entre a tela e o painel

6.3.4 – Revestimento

Para a aplicação do revestimento, deve-se preparar inicialmente a argamassa. Para tal, deverá a mesma ter o traço comum de 3,5:1 (areia: cimento) e a mistura em betoneira é de 50 kg de cimento, 159 kg de areia média seca e 100 g de fibra de polipropileno (opcional). Após a homogeneização da mistura, a argamassa é levada ao projetor pneumático para aplicação junto à placa de EPS (figuras 6.16 e 6.17). Para evitar desperdícios, coloca-se placas de compensado ou lona no piso junto aos painéis, para posterior reutilização da argamassa projetada.



Figura 6.16 – Aplicação da argamassa utilizando projetor pneumático de argamassa junto a um painel de EPS da High Tech



Figura 6.17 – Desempenamento da superfície após aplicação da argamassa nos painéis de EPS da High Tech

O revestimento deve ser aplicado em duas camadas, sendo a primeira o preenchimento da superfície do EPS (que é ondulada) até facear com a malha de arames de aço. O revestimento deve ser feito sempre em ambas as faces do painel, de modo que nenhum painel apresente apenas uma das faces revestidas para a cura. Esse procedimento é importante para que o sistema não apresente retração diferencial nas duas faces revestidas. Após a cura total dessa primeira camada, inicia-se a colocação dos batentes e caixilhos. Uma vez fixados, nivelados e aprumados, os batentes e os caixilhos devem ser protegidos, para que não sejam danificados pela argamassa projetada da segunda e última camada. Esta deve ser aplicada da mesma forma que a primeira, até atingir a espessura indicada em projeto, e desempenada para acabamento. Nas áreas determinadas, a aplicação dos azulejos é feita com argamassa industrializada (cimento-cola); nas outras, se a especificação é a de acabamento fino, aplica-se gesso ou massa corrida, da mesma maneira que numa alvenaria convencional (Mammini, 1998).

7. PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Na era moderna, o primeiro uso documentado de concreto pré-moldado foi na Catedral “Notre Dame Du Haut” em Raincy, França, por Auguste Perret em 1923, onde foi utilizado apenas em paredes divisórias como uma solução diferente do uso do concreto fabricado *in loco* (PCI, 1973). Este uso é uma herança do concreto armado que, desde o século XIX, vem sendo utilizado combinando a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço.

Os painéis pré-fabricados são produzidos a partir de formas metálicas, possibilitando a criação de diversos modelos, dependendo da maneira com que se modele a fôrma (figura 7.1). A superfície externa dos painéis fica em contato com o fundo da fôrma metálica, garantindo a qualidade de acabamento do concreto aparente dos painéis. Os mesmos podem ainda ter vários tipos de acabamentos prévios, tais como auto-relevos, cerâmicas, pastilhas, pigmentos, pinturas, além da pré-fixação de esquadrias (figura 7.2).



Figura 7.1 – Exemplo de algumas possibilidades de modelo de painéis pré-fabricados de concreto da STAMP



Figura 7.2 – Exemplo de alguns tipos de acabamento para painéis pré-moldados (Precon, 1999)

Ao se utilizar este tipo de painel, algumas observações devem ser consideradas, tais como:

a) Certos cuidados devem ser tomados ao se projetar utilizando este tipo de vedação visando a oferecer uma interpretação clara e precisa dos painéis. No projeto deve constar: tamanho, configuração, seções, detalhes de juntas, conexões e cantos do edifício ou estrutura e acabamentos. O uso de perspectivas isométricas como complemento ao detalhamento do projeto facilita a interpretação das exigências do mesmo.

b) O reforço da estrutura do painel deve ser considerado. Por se tratar de concreto armado, os painéis pré-moldados exigem vergalhões em aço ou tela soldada para resistir à tração do conjunto (como representado nas figuras 7.3 e 7.4). Desta forma, como regra geral, opta-se por peças metálicas de seção reduzida, diminuindo-se assim o espaçamento entre barras. Pode ser usado protensão como reforço parcial do concreto quando a espessura do painel for muito fina, visando o controle de rachaduras por retração ou exigências de projeto estrutural. No entanto, não se deve utilizar esta técnica para controle ou redução de empenamento, pois a protensão durante a fase de cura do concreto pode aumentar este problema.

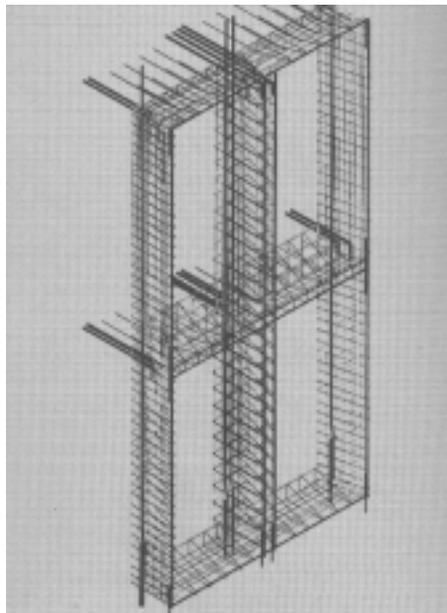


Figura 7.3 – Esquema de montagem da ferragem para os painéis (PCI, 1973)

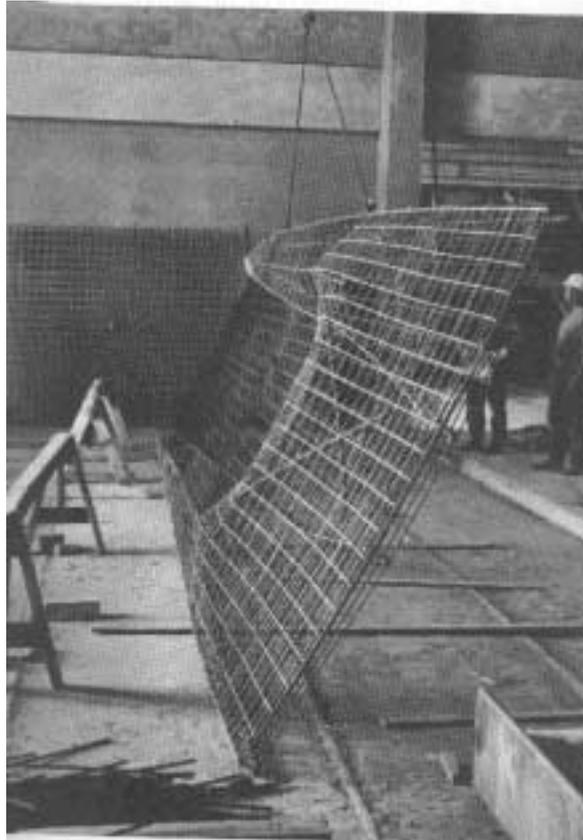


Figura 7.4 – Montagem das barras de ferro para estruturação dos painéis (PCI, 1973)

c) Os painéis pré-moldados devem resistir, basicamente, ao peso próprio e cargas de vento, além de impactos durante o transporte e montagem dos mesmos. Outra carga adicional a ser considerada é o aumento dos esforços quando o painel possui a função adicional de contraventamento e tanto este quanto aqueles esforços atuam nas conexões do painel à estrutura.

d) As deformações e movimentações da estrutura, provocadas respectivamente por recalque de fundação (figura 7.5) e forças de vento (figura 7.6), podem afetar a integridade do painel. Para se evitar isto, deve-se levar em consideração tolerâncias de deformação que serão detalhadas no item 7.5 .

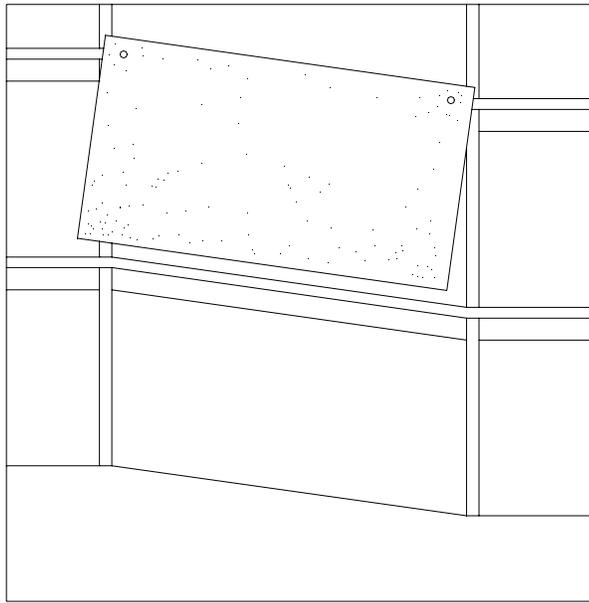


Figura 7.5 – Movimentação da estrutura provocada por recalque de fundação (SCI, 1992)

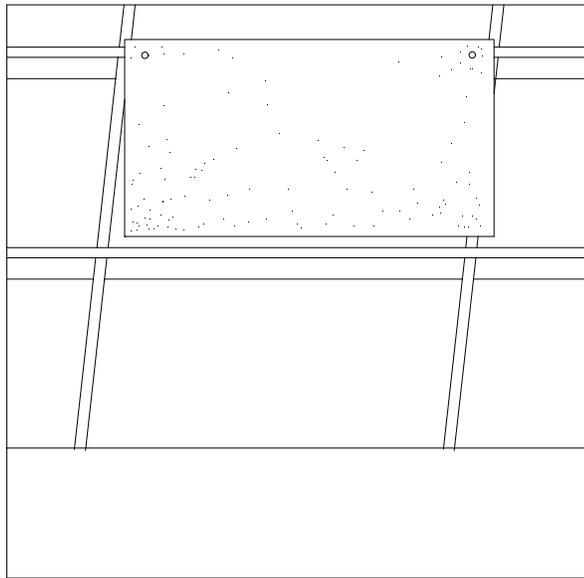


Figura 7.6 – Movimentação da estrutura provocado pela força de vento (SCI, 1992)

7.1 Desgaste e proteção dos painéis

Os principais fatores que contribuem para o desgaste do concreto são: a sujeira atmosférica, os depósitos de uma superfície ou material adjacente, a ação química devido à poluição atmosférica, os materiais emergidos do próprio concreto, as alterações na superfície do material e materiais estranhos depositados na superfície do painel.

7.1.1 Sujeira atmosférica

A sujeira trazida pela atmosfera é normalmente depositada sobre a superfície do painel; no entanto, é a chuva a responsável por marcas e acentuação de diferenças de áreas mais ou menos sujas de uma fachada. Isto mostra que a chuva, inicialmente, pode ser o agente de limpeza das superfícies sujas de uma edificação, entretanto, ao absorver sujeiras, a mesma chuva torna-se o agente responsável por manchas e diferenças de tonalidades do concreto ou acabamento.

Deve-se deixar que a chuva, ao atingir a superfície dos painéis, faça a limpeza do mesmo, mas o arquiteto deverá tentar antecipar o fluxo de água sobre a parede de tal forma a desviar ou induzir caminhos para evitar manchas nas paredes externas das edificações. Desta forma, deve-se considerar detalhes tais como pingadeiras; parapeitos e vergas; juntas ou ranhuras para direcionamento adequado do escoamento de água pluvial (figura 7.7, figura 7.8(a) e (b) e figura 7.9).

Paredes verticais lisas devem ser interrompidas de forma a conduzir a água e sujeiras para as juntas verticais, condutores ou câmaras de descompressão (tratados no item 7.6) ou ainda dirigida para fora do prédio. Uma destas maneiras é utilização de gárgulas, como representadas nas figuras 7.10 e 7.11, que podem ser também aproveitadas para escoamento de água que provem das janelas durante as chuvas. A figura 7.12 exemplifica uma junta vertical, para dentro da qual a água é canalizada e a descarrega sobre uma superfície de

concreto vertical sem continuidade de juntas, provocando manchas no mesmo. Na mesma figura tem-se a forma correta de indução da água, onde a mesma é dirigida por juntas, baixos relevos ou pingadeiras até o chão.

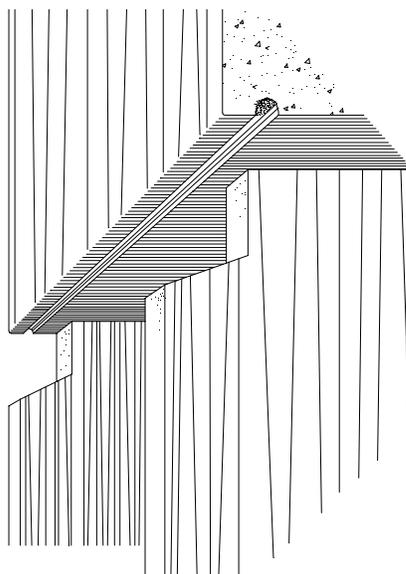


Figura 7.7 – Pingadeira para condução de água pluvial (PCI, 1973)

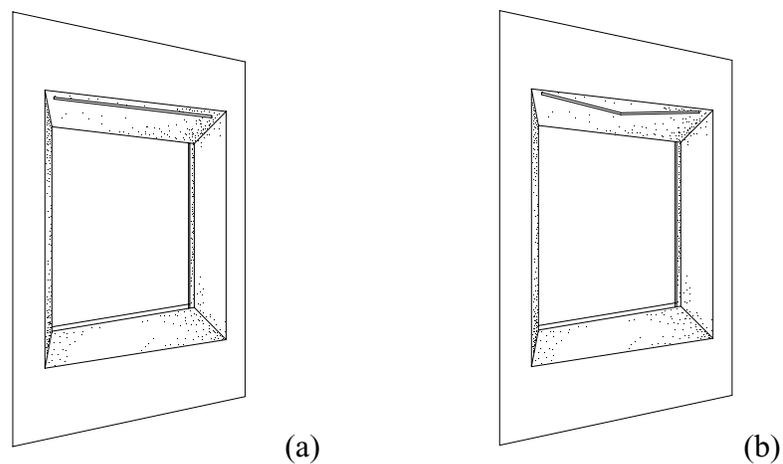


Figura 7.8 (a) – Interrupção da pingadeira antes de atingir o lado do painel;
(b) – Indução do fluxo de água para o centro do painel (PCI, 1973)

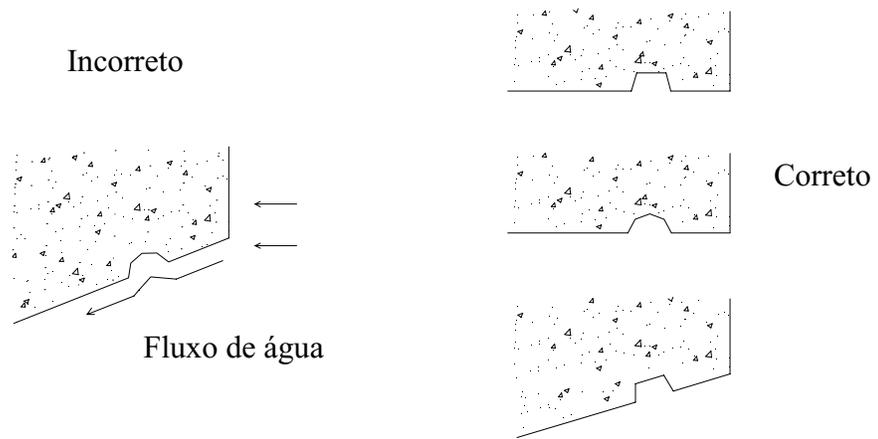


Figura 7.9 – Detalhe de configuração correta e incorreta de pingadeira (PCI, 1973)



Figura 7.10 – Gárgula para condução da água pluvial para fora do prédio (PCI, 1973)

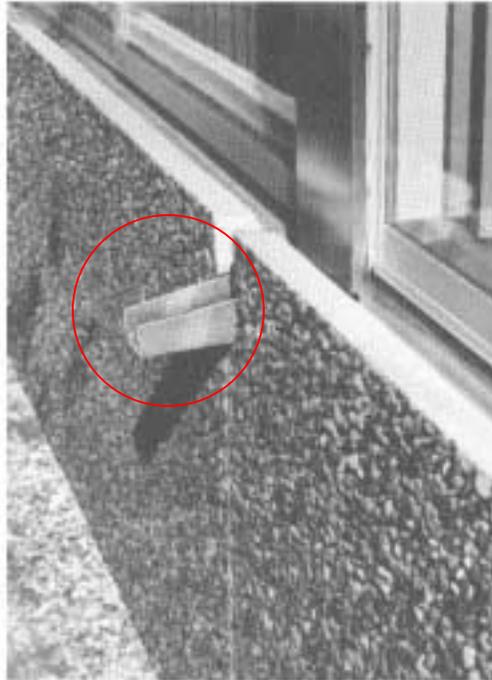


Figura 7.11 – Detalhe das gárgulas para condução da água pluvial (PCI, 1973)

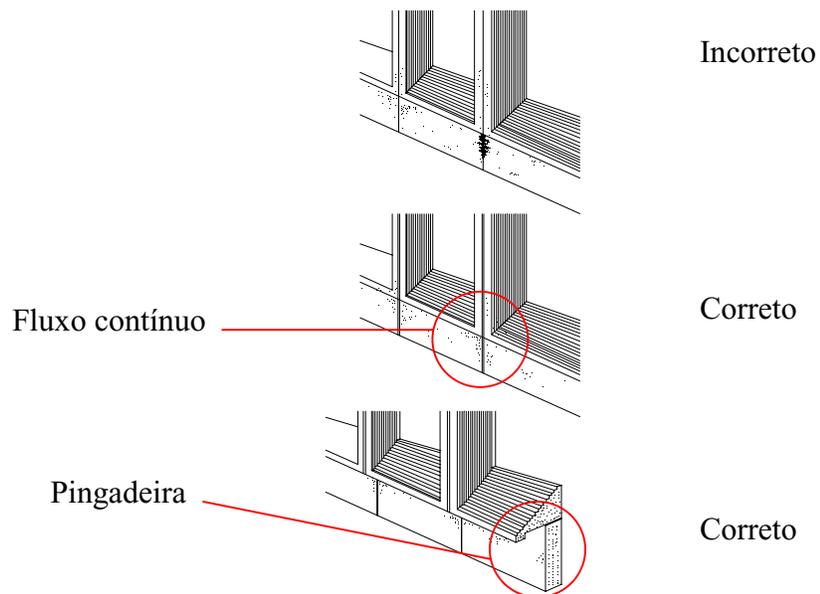


Figura 7.12 – Exemplo de detalhe incorreto e correto de juntas verticais (PCI, 1973)

7.1.2 Depósitos de uma superfície ou material adjacente

Este problema está diretamente ligado ao item anterior. Se as pingadeiras e dutos apenas conduzirem a água e sujeira de uma superfície para outra, esta estará sujeita a criação de manchas e o problema estará simplesmente sendo desviado. A água que atinge o cobre, bronze ou laminados pode tingir tais materiais e, posteriormente, manchar a superfície dos painéis. Desta forma, para minimizar tais efeitos, pode-se utilizar artificios tais como superfícies texturizadas, tons mais escuros ou conduzir a água para fora da edificação, como representados nas figuras 7.10 e 7.11.

7.1.3 Ação química devido à poluição atmosférica

A concentração de alguns elementos corrosivos é alta em ambientes urbanos e pode afetar certos materiais de construção. A densidade do concreto é, normalmente, a melhor maneira de se evitar a ação química da poluição atmosférica. Exceto em áreas de concentração excessivamente alta de elementos corrosivos, os profissionais só precisam especificar as durezas e durabilidades do concreto, prover um recobrimento de reforço do concreto e evitar o uso de agregados leves, tais como alguns calcários.

7.1.4 Materiais emergidos do próprio concreto

Alcalis solúveis migram com a água em evaporação para a superfície do concreto, provocando descoloração geralmente temporária, aparecendo mais em superfícies de concreto escuro. O cuidado na hora de combinar o desenho com a cura do concreto, além do uso apropriado de pozolana reduzem esta florescência. Já em ambientes onde há muita umidade, aliada a altas temperaturas, pode haver o aparecimento de materiais orgânicos, tais como algas e líquens.

7.1.5 Alterações na superfície do material

O recobrimento de concreto pode desenvolver fissuras na superfície que não têm significado estrutural ou de durabilidade, mas pode tornar visualmente acentuado quando a sujeira se deposita nestas fissuras, sendo ainda maior em superfícies horizontais. Uma mistura de concreto menos resistente corretamente consolidado, ao contrário de uma mistura rica em cimento e água, reduzirá as fissuras.

Partes da ferragem de amarração e partículas de aço queimado em soldagem e acidentalmente deixados no molde podem provocar manchas de ferrugem no painel. Estas manchas e partículas de aço devem ser removidas da superfície tão logo se tornem visíveis. Manchas de ferrugem também podem aparecer graças à Pirita de Ferro reativas ou outros contaminadores quando estes fizerem parte do agregado. Desta forma, tais materiais não devem ser usados em painéis externos, a não ser que prováveis manchas provocadas por estes agregados sejam aceitas pelo arquiteto.

7.1.6 Materiais estranhos depositados na superfície do painel

A maioria das manchas provocadas por materiais estranhos ocorrem durante a execução da obra, tais como óleos de grua e compressores. Estas manchas são evitadas com o cuidado durante a fase construtiva e, quando ocorrer, devem ser prontamente reparados com métodos apropriados.

Levantados os principais fatores que levam ao desgaste do concreto, faz-se necessário enumerar mais dois cuidados para proteção dos painéis, além dos já citados anteriormente.

7.1.6.1 Redução de absorção da umidade

Para redução da absorção da umidade pelo concreto, é necessário que o mesmo seja de alta densidade. A alta densidade é influenciada pela superfície do molde (impermeabilização da superfície para dar uniformidade e alta densidade ao concreto na face externa do painel), cura lenta do concreto (para aumento da resistência do mesmo), uniformidade do concreto (vibração do concreto para evitar bolsas de ar) e proporção da mistura do concreto (uso mínimo necessário de cimento e água para redução da retração e aumento da resistência, densidade e absorção).

7.1.6.2 Uso de selantes

O uso de selantes pode melhorar as características de resistência à erosão de painéis e sua aplicação pode ser necessária para evitar mudanças na aparência do concreto quando molhado, para dar brilho, reduzir a lixiviação de cal (que pode marcar o vidro, alumínio e outros materiais susceptíveis a cal), para proteção temporária do concreto durante o armazenamento dos painéis, reduzir a absorção de água e clarear os agregados. No entanto, cuidados devem ser tomados pois os selantes podem provocar mudanças de aparência com o tempo (aparência molhada ou de bolhas), atrair poeira, exigindo mão de obra qualificada para aplicação deste material.

7.2 Tipos de painéis

São três os tipos básicos de painéis: painéis-cortina, painéis de vedação e painéis portantes. O terceiro tipo, como o próprio termo diz, refere-se a painéis que suportam, além do peso próprio, as cargas de laje e painéis superiores apoiados sobre as mesmas, dispensando vigas e pilares de sustentação. Devido ao fato do tema deste estudo ser de painéis junto às estruturas metálicas, não será analisado tal tipo.

7.2.1 Painéis-cortina

Os painéis-cortina são os painéis fixados à estrutura e nas lajes da edificação, recobrendo externamente toda a estrutura, como representado na figura 7.13, sendo o tipo mais usual.



Figura 7.13 – Exemplo de painel cortina da Precon

7.2.2 Painéis de vedação

Os painéis de vedação diferem dos painéis anteriores apenas pelo fato da estrutura ficar aparente, como demonstra a figura 7.14.

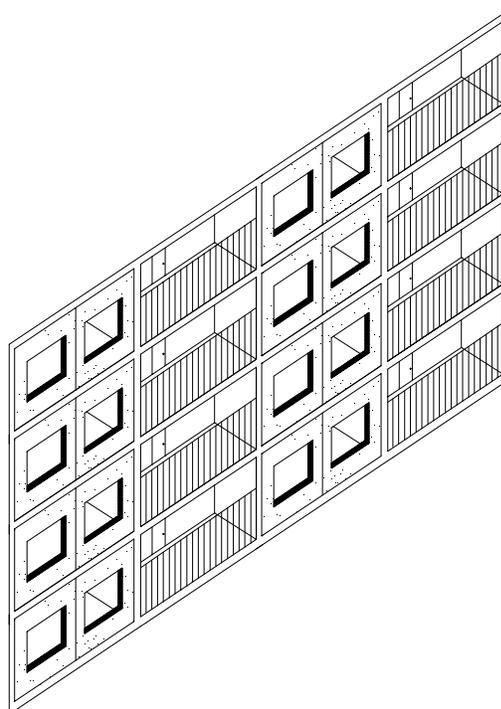


Figura 7.14 – Exemplo de painel de vedação

7.3 Acabamentos

Por se tratar de um material e técnica de fabricação muito versáteis, os painéis pré-moldados de concreto permitem uma grande variedade de acabamentos que podem ser divididos em três grupos, a saber: o acabamento antes do molde, o acabamento tratado após o molde e o acabamento após a cura do concreto.

7.3.1 Acabamento antes do molde

O acabamento antes do molde é aquele determinado antes do concreto ser moldado, ou seja, se o acabamento desejado for com seixo rolado, coloca-se o mesmo no fundo do molde para posterior colocação da ferragem e concreto no mesmo molde. Estes acabamentos podem ser completamente lisos, figura 7.15, com modulações de padrões geométricos, figura 7.16 e 7.17, frisado, 7.18, texturizado, figura 7.19, e revestido, figura 7.20.



Figura 7.15 – Pannel de acabamento completamente liso da Precon

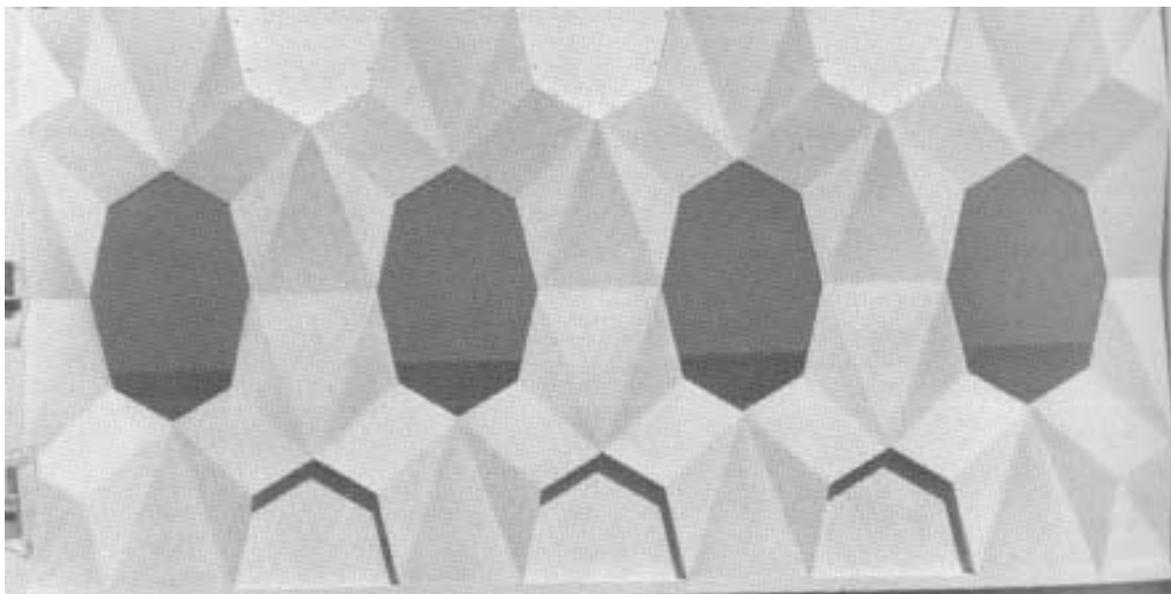


Figura 7.16 – Painel de acabamento com modulações de padrões geométricos (PCI, 1973)



Figura 7.17 – Exemplo de painel de acabamento com modulações de padrões geométricos da Precon



Figura 7.18 – Exemplo de painel com acabamento frisado da Precon



Figura 7.19 – Exemplo de acabamento texturizado da Precon



Figura 7.20 – Exemplo de revestido em granito da Precon

7.3.2 Acabamento tratado após o molde

O acabamento tratado após o molde é obtido durante a operação de pré-moldagem, sendo este feito no encontro do painel ao molde ou na face voltada para cima. Para a obtenção de acabamento feito junto ao encontro do painel ao molde, utilizam-se retardadores químicos de cura para expor o agregado nas faces do fundo e laterais do painel. Para obter o acabamento na face voltada para cima, vários efeitos decorativos podem ser obtidos durante sua fabricação, tais como expor o agregado (uso de jato d'água antes da cura do concreto), figura 7.21, acabamento decorativo (uso de vassoura, colher de pedreiro, aniagem etc.) e acabamento liso (desempenado).

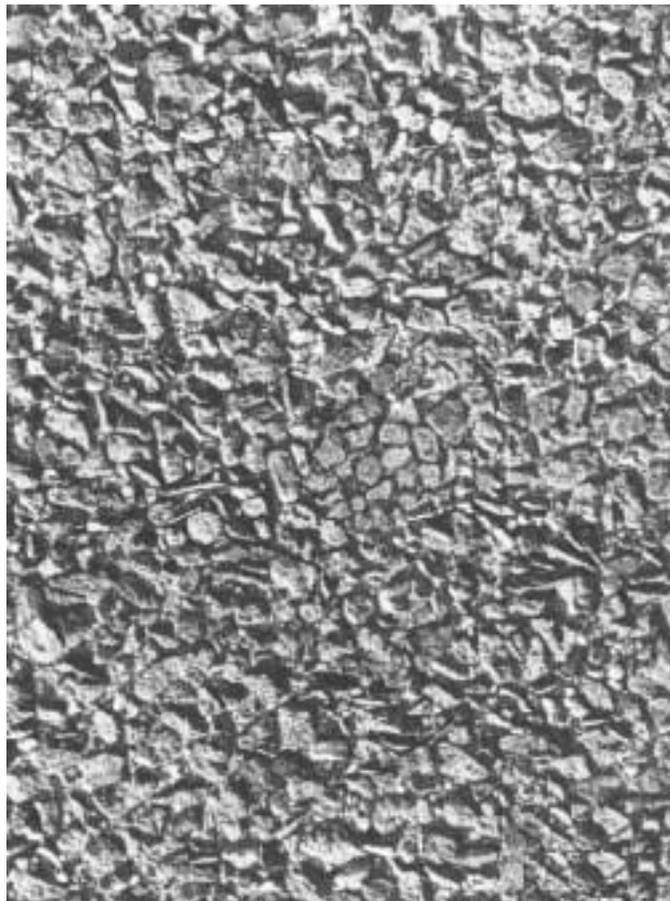


Figura 7.21 – Exposição de agregados na face externa do painel (PCI, 1973)

7.3.3 Acabamento após a cura do concreto

O acabamento é executado após a cura do concreto e pode ser obtido através de imersão do painel em um tanque com uma solução ácida (para obtenção de fina textura), jato de areia, esmerilhamento e polimento, que oferece acabamento similar ao marmorite, e pintura, figura 7.22.



Figura 7.22 – Acabamento após a cura do concreto utilizando pintura automotiva (poliuretânica) junto ao painel da Precon

7.4 Conexões

As conexões são os elementos de fixação dos painéis à estrutura, sustentando-os tanto pela base quanto pelo topo. Estas conexões, além de permitirem a fixação, trabalham desvinculados da estrutura, evitando a transferência de esforços advindos de movimentações da estrutura para os painéis, ou ainda permitindo a expansão destes quando há dilatações por elevação de temperatura.

Alguns cuidados com relação às conexões devem ser considerados, como o posicionamento das conexões, que deve permitir acesso para a manutenção dos mesmos; projetar um número mínimo de conexões; prever zonas de amortecimento e tolerâncias para absorver variações dimensionais sem comprometer a integridade dos painéis; evitar a locação de conexões logo acima e abaixo da laje (próximas entre si), como representado na figura 7.23, evitando assim movimentos de rotação do painel; permitir o fácil acesso a equipamentos de içamento. As conexões devem estar localizadas em pontos que permitam

a fixação dos painéis à estrutura, estando a equipe de instalação em um só pavimento, facilitando a coordenação de fixação e reduzindo a equipe de trabalho. É importante prever conexões próximas às colunas a fim de reduzir a flexão das vigas, figura 7.24. Além destes cuidados já citados, os ajustes finos, se necessários, só devem ser feitos após a instalação dos painéis, exigindo precisão de projeto, fabricação e pré-montagem.

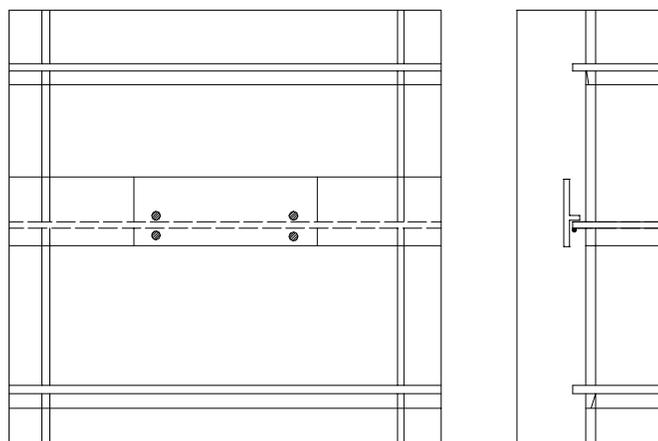


Figura 7.23 – Vista frontal e lateral da posição incorreta das conexões (SCI, 1992)

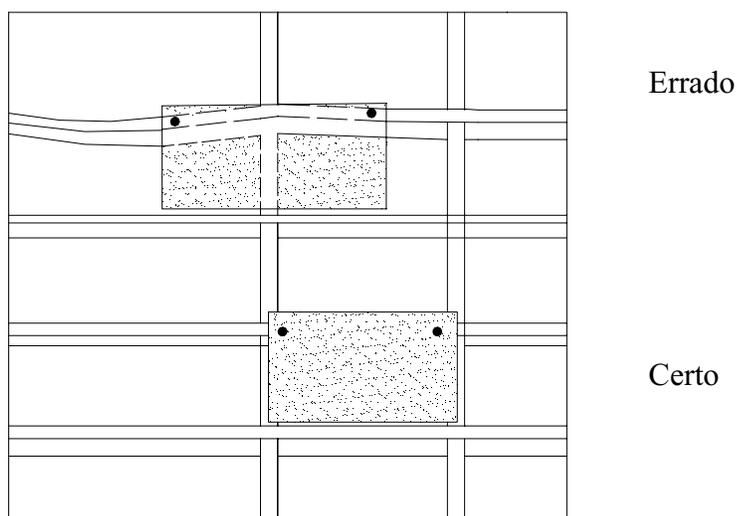


Figura 7.24 – Conexões próximas às colunas para prevenir flexões (SCI, 1992)

7.4.1 Métodos de Fixação

As conexões podem ser fixadas através de solda ou aparafusamento. No entanto, deve-se evitar o uso de solda nas conexões, pois este método de fixação costuma ser honeroso e exigir fácil acesso (lugares confinados dificultam a soldagem). Além disto, processos de solda que precisam ser executados antes dos painéis serem liberados de guindaste aumentam o custo da obra e as temperaturas elevadas deste processo provocam a expansão do metal, comprometendo as peças de fixação ou provocando trincas no concreto próximas as mesmas.

Outros problemas advindos do uso da solda na obra, tais como necessidade de mão de obra especializada, inspeção e controle de qualidade mais rigorosos que o parafusamento e necessidade de energia elétrica e equipamentos especiais, dificultam ainda mais este método. Desta forma, sempre que possível, o projetista deverá optar por conexões parafusadas, evitando ou minimizando operações de soldagem na obra.

7.4.2 Tipos de conexão

Existe uma infinidade de tipos de conexões e isto se deve ao fato de que cada fabricante desenvolve uma técnica de fixação que se adequie mais ao seu método de fabricação e montagem dos painéis. No entanto, esta variedade pode ser agrupada em *inserts* e barras de fixação. Os *inserts* são peças (pinos ou parafusos) que são chumbados ou fixados ao painel por meio de argamassa. Exige engenharia e detalhamento cuidadoso, além de precisão na fabricação pois sua eficácia diminui sensivelmente se não estiverem perpendiculares e alinhados à superfície de suporte, figuras 7.25, 7.26 e 7.27. As figuras 7.36, 7.38 e 7.40 do item 7.4.3 também exemplificam conexões utilizando *inserts*, tendo o pino como material de fixação.

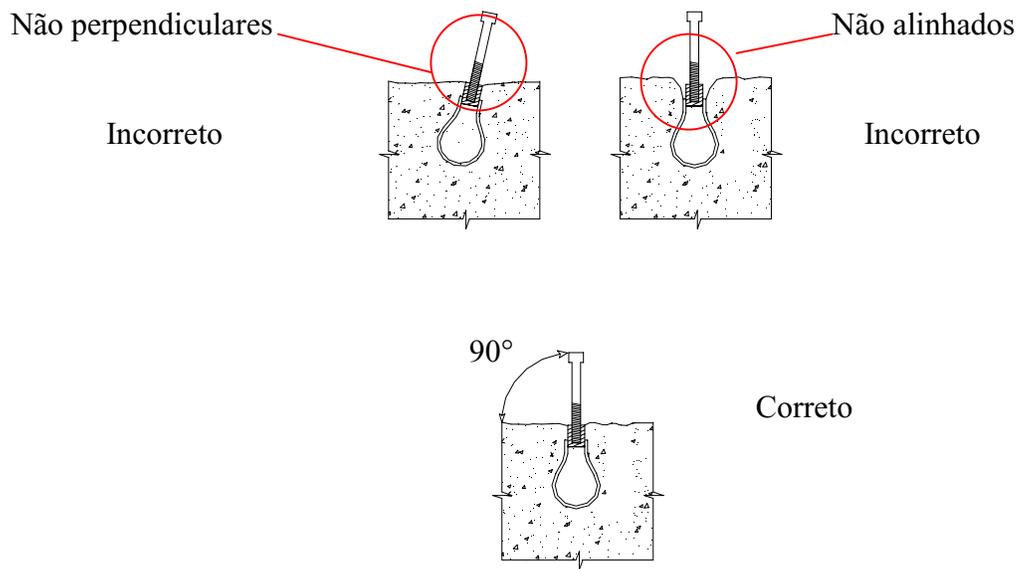


Figura 7.25 – Posição incorreta e correta dos *inserts* de fixação (PCI, 1973)



Figura 7.26 – Fixação dos painéis da STAMP através de *inserts* de seção quadrada



Figura 7.27 – Exemplo de *inserts* em painéis curvos da STAMP

As barras de fixação são outro tipo de equipamento utilizado para sustentação do painel à estrutura e podem ser parafusados, chumbados ou inseridos durante o processo de concretagem do painel. As figuras 7.28 e 7.29 exemplificam este equipamento, enquanto nas figuras 7.30 e 7.31 podem ser observados detalhes dos mesmos. Estes dois tipos de conexão permitem várias técnicas e equipamentos variantes destes. Nas figuras 7.32, 7.33 e 7.34 são exemplificadas algumas alternativas de conexões.

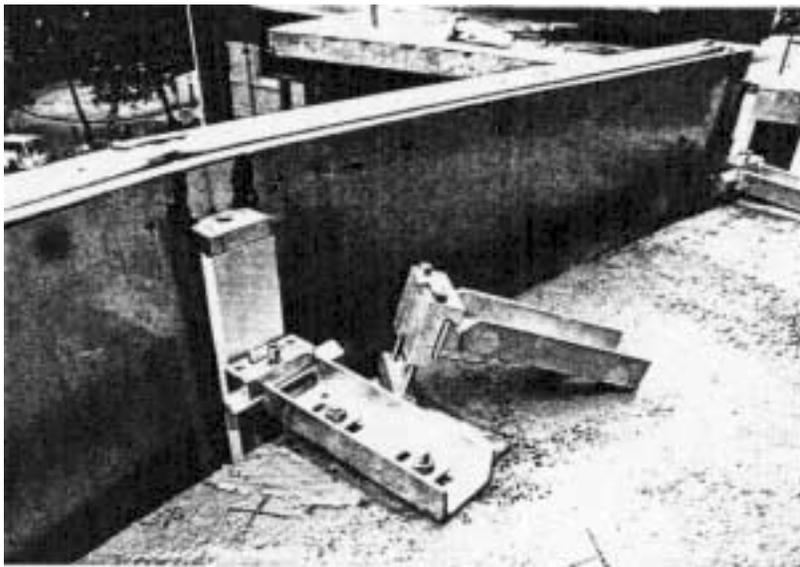


Figura 7.28 – Fixação do painel à estrutura utilizando barras de conexão (SCI, 1992)

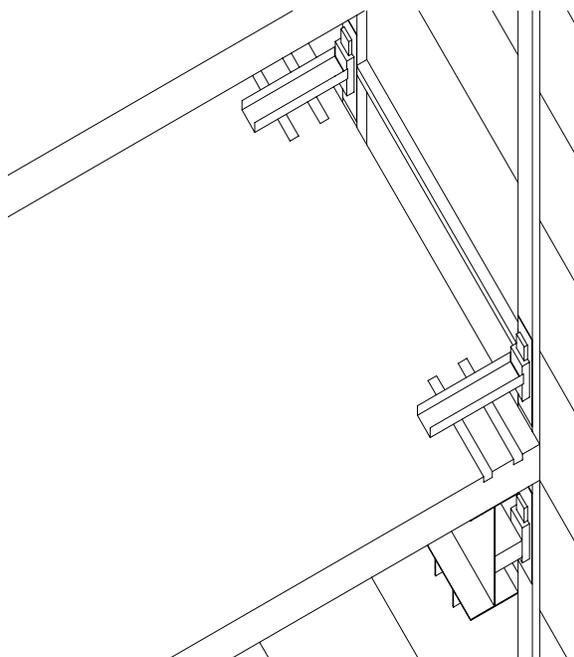


Figura 7.29 – Isometria exemplificando a fixação do painel à estrutura e laje utilizando barras (SCI, 1992)

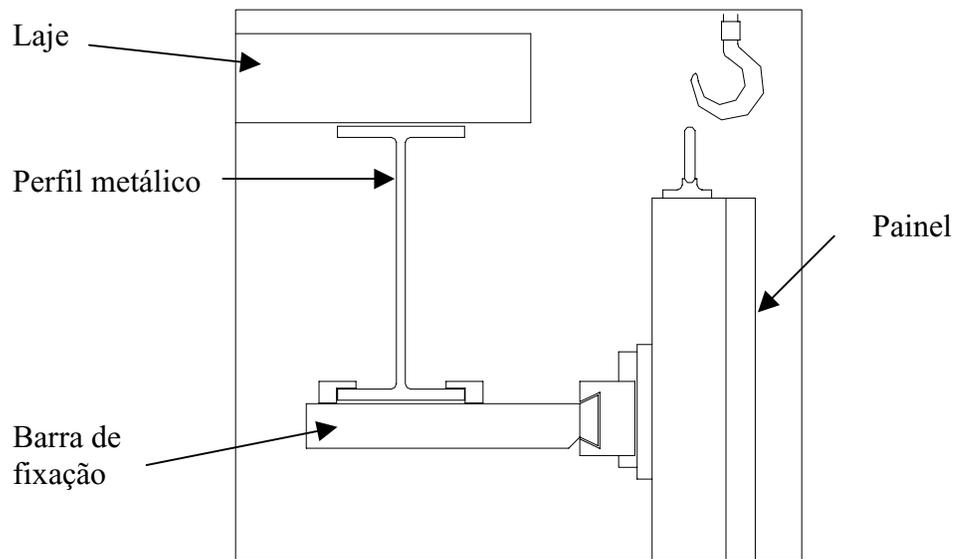


Figura 7.30 – Detalhe de fixação do painel ao perfil metálico utilizando barras (SCI, 1992)

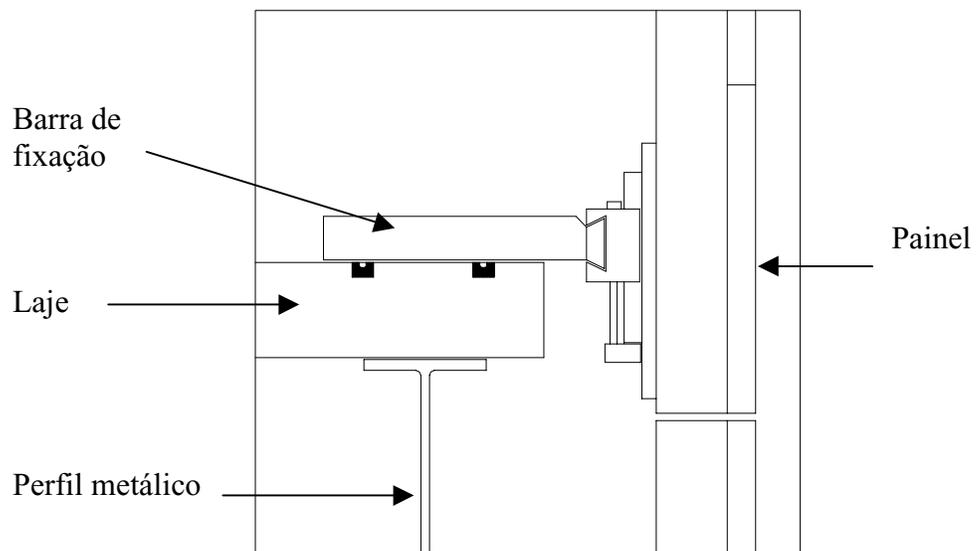


Figura 7.31 – Detalhe de fixação do painel à laje utilizando barras (SCI, 1992)

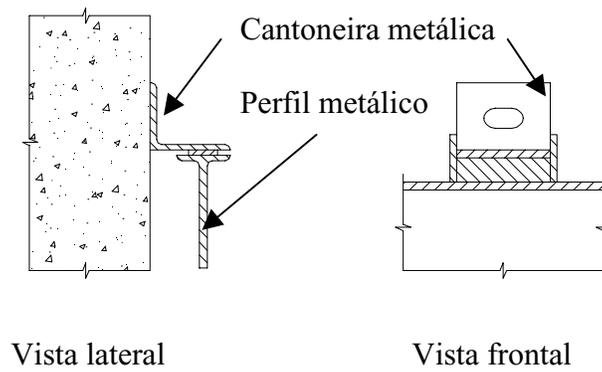


Figura 7.32 – Conexões de painéis à estrutura utilizando cantoneiras (PCI, 1973)

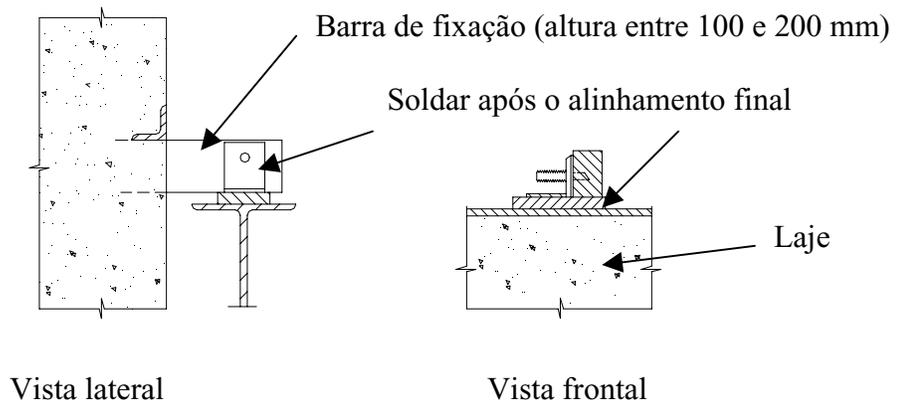


Figura 7.33 – Exemplo de conexão do painel à estrutura utilizando barras (PCI, 1973)

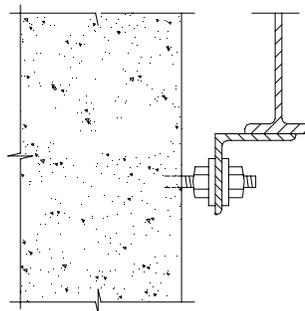


Figura 7.34 – Conexões utilizando *inserts* parafusados em cantoneiras soldadas à estrutura (PCI, 1973)

7.4.3 Sistemas de Conexão

Também devido à versatilidade dos painéis pré-moldados em concreto, vários sistemas de conexão foram desenvolvidos para a fixação dos mesmos à estrutura. Entretanto, pode-se classificar três tipos básicos de sistema de conexão: no topo do painel, na base do painel e entre painéis.

7.4.3.1 Fixação no topo do painel

Este tipo de fixação exige que se trabalhe em dois pavimentos durante a instalação do mesmo, o que dificulta sua instalação por exigir duas equipes de montagem em dois pavimentos diferentes. As figuras 7.35 e 7.36 exemplificam este tipo de sistema.

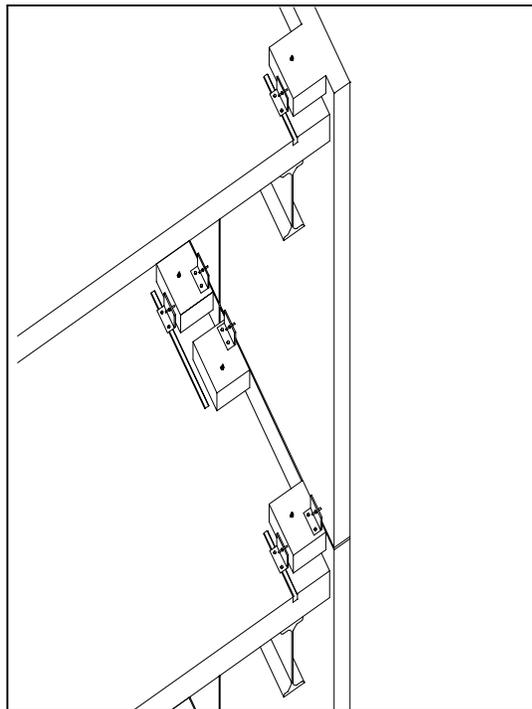


Figura 7.35 – Exemplo de fixação no topo do painel; (SCI, 1992)

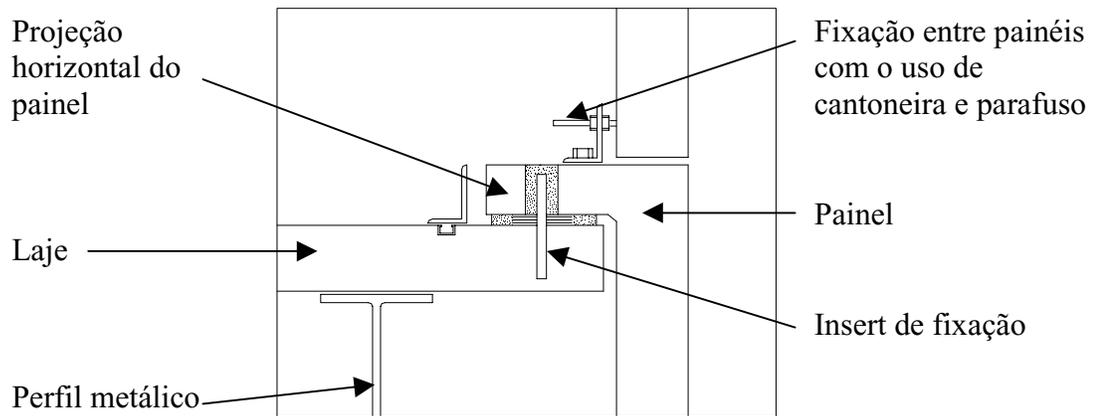


Figura 7.36 – Detalhe de conexão do painel à estrutura utilizando fixação no topo do mesmo (SCI, 1992)

7.4.3.2 Fixação na base do painel

Neste tipo de sistema, os painéis atuam comprimidos e suas conexões são feitas diretamente na estrutura, não havendo fixação entre painéis (figura 7.37 e 7.38). Este sistema possui como vantagem a possibilidade de fixação utilizando apenas um pavimento para a instalação do painel.

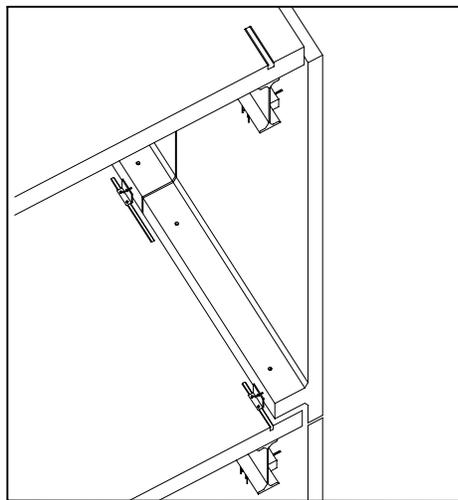


Figura 7.37 – Perspectiva exemplificando o sistema de conexão na base do painel (SCI, 1992)

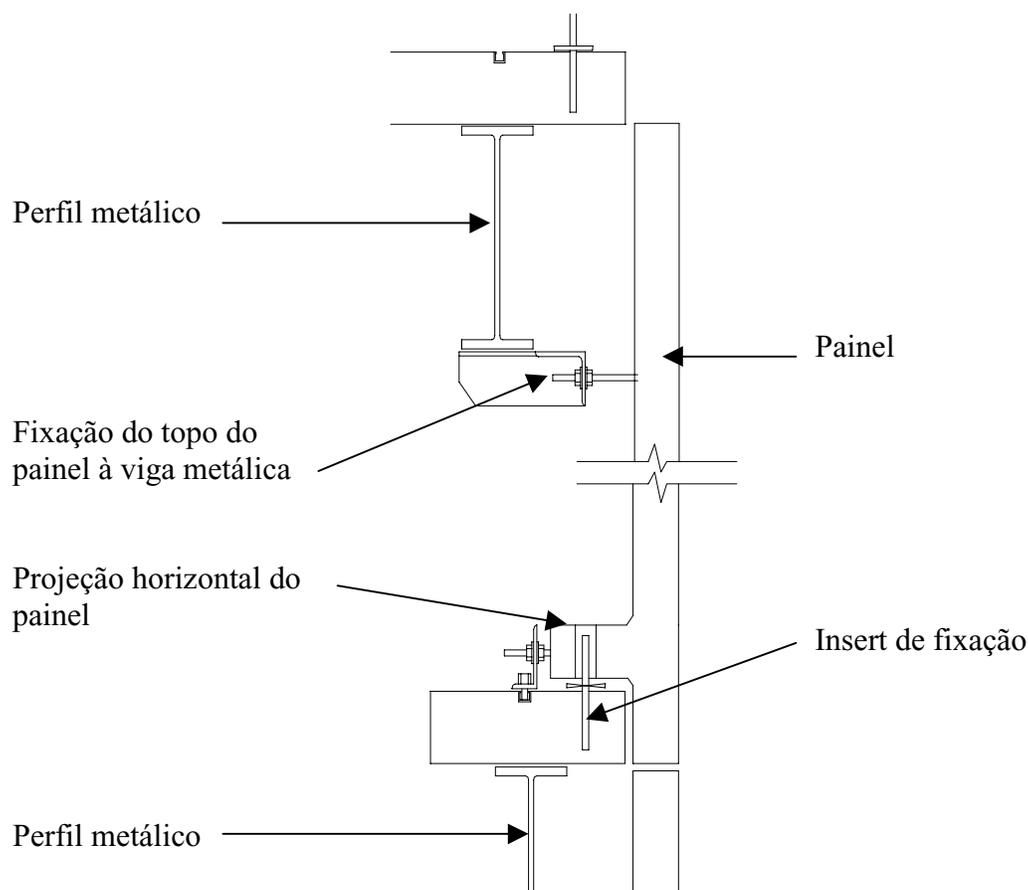


Figura 7.38 – Detalhe dos conectores na base e topo do painel (SCI, 1992)

7.4.3.3 Fixação entre painéis

Este sistema de fixação é uma derivação do primeiro, diferindo apenas pelo fato de se utilizar uma cantoneira como sistema de fixação em substituição ao apoio feito com o próprio material do painel. A fixação entre painéis se faz por uma chapa plana metálica aparafusada, como ilustrado nas figuras 7.39 e 7.40. Esta chapa plana possui apenas a função de resistir às cargas de vento que poderiam causar a rotação do painel ao redor de sua conexão estrutural.

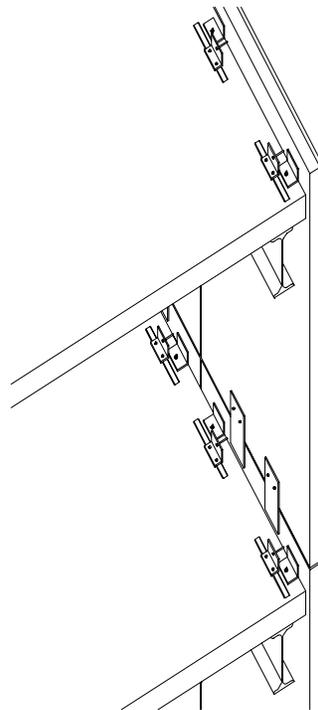


Figura 7.39 – Sistema de fixação entre painéis usando cantoneira e chapa plana (SCI, 1992)

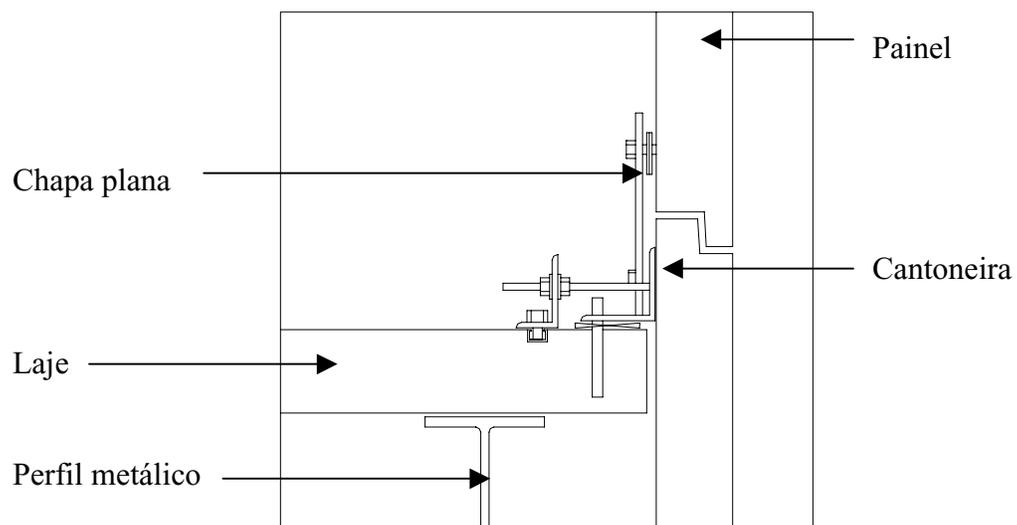


Figura 7.40 – Detalhe de conexão do painel à estrutura utilizando cantoneira e fixação entre painéis com o uso de chapa plana (SCI, 1992)

7.4.4 Proteção de Conexões

A condição mais comum que demanda proteção é a exposição das conexões às condições climáticas, principalmente à umidade. Estas peças devem ser totalmente encapsuladas em concreto ou protegidas contra a umidade e corrosão através de proteção especial, que pode ser uma camada de tinta rica em zinco, a própria zincagem, galvanização ou o uso de aço inoxidável. Nestas circunstâncias, as conexões devem ser, preferencialmente, parafusadas. Caso haja necessidade de solda na obra, deve-se, após tal trabalho, limpar e recobrir a área com tinta rica em zinco. A proteção contra o fogo deve ser levada em consideração, tanto utilizando a concretagem das conexões quanto aplicando materiais protetores, tais como compostos de amianto.

7.5 Montagem do Sistema

Por se tratar de produtos industrializados, a montagem dos painéis pré-moldados de concreto consiste, basicamente, no içamento dos mesmos até o ponto de fixação junto à estrutura. Os cuidados que se deve ter no detalhamento, fabricação e fixação dos painéis à estrutura por meio de conexões já foram tratados nos itens anteriores, contudo, algumas observações adicionais devem ser levadas em consideração. A primeira observação considera que, para se obter o máximo de economia numa obra com o uso de painéis pré-moldados em concreto, é importante planejar um mínimo de tempo para manipulação e construção no local. Este planejamento envolve uma investigação dos procedimentos de manipulação e construção para minimizar as dificuldades de construção e a correta escolha das conexões.

Deve-se prever também o detalhamento de conexões de forma a permitir que os equipamentos de içamento sejam rapidamente liberados. Para tal, deve-se projetar aparelhos que façam o auto-nivelamento e alinhamento dos painéis sem o uso de equipamentos de içamento, como ilustra a figura 7.41. Cargas adicionais devem ser

previstas no projeto estrutural dos painéis, tais como cargas de impacto durante o transporte e manuseio dos mesmos e variação da direção dos esforços de tração e cargas dinâmicas durante as operações de manuseio e içamento, além de prever alças de cabo de aço ou *inserts* para içamento dos painéis, figura 7.42.

As operações que demandam padrões de alta qualidade, tais como partes complexas das conexões, devem ser realizadas nas fábricas. Isto porque as condições de trabalho e inspeção numa fábrica são superiores às condições de campo e independem de fatores climáticos. Deve-se evitar soldas que precisam ser executadas antes do painel ser liberado do guindaste ou grua, pois o tempo de içamento está diretamente relacionado com o custo da obra.

Em relação a otimização do tamanho do painel, a princípio, quanto maior o painel, mais rápida é a operação de içamento e da vedação de edificação. No entanto, deve-se considerar que painéis maiores podem ser mais difíceis de fabricar e transportar, além de exigir equipamentos de içamento de maior capacidade de carga. Desta forma, o arquiteto, junto ao fabricante e construtor, deverá escolher o tamanho do painel levando em consideração o transporte (dificuldade de acesso de grandes caminhões em determinadas regiões urbanas, por exemplo) e limite de capacidade de carga de equipamento de içamento.

Deverá haver um planejamento de obra de tal forma que os painéis cheguem no canteiro em uma seqüência pré-determinada de montagem e sejam erguidos diretamente do caminhão para a estrutura, otimizando o uso da grua ou guindaste. Todo o processo deverá contemplar a segurança, tanto do pessoal da fabricação e construção, quanto do público em geral. Esta consideração deverá estar presente não só no cálculo do painel, mas bem como nas suas conexões, aparelhos de içamento e no processo de transporte e montagem. Mais algumas considerações sobre transporte e içamento são exemplificadas nas figuras 7.43, 7.44, 7.45 e 7.46.

Além das considerações acima citadas, deve-se prever em projeto tolerâncias (limites de erro) necessárias para permitir pequenos ajustes e movimentações do sistema construtivo. Nas figuras 7.47, 7.48, 7.49, 7.50, 7.51, 7.52, 7.53 e 7.54 as tolerâncias permitidas para o sistema são apresentadas. Outras tolerância existentes na fase de fabricação ou interface com outros materiais de construção (folga para permitir expansão de caixilhos de alumínio com o aumento da temperatura ou para permitir detalhes de isolamento do mesmo a outros materiais, evitando possível ação eletrolítica) também devem ser observados.

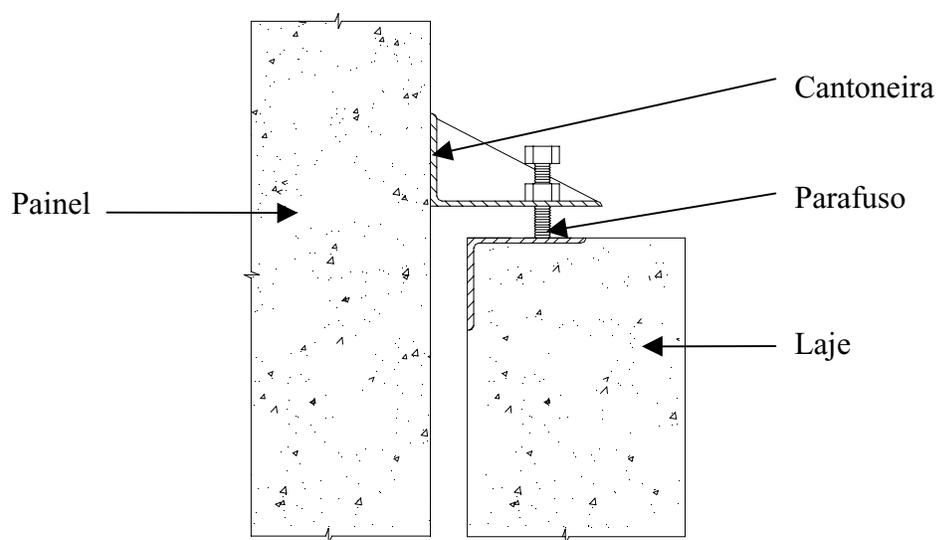


Figura 7.41- Exemplo de auto-nivelamento de painéis utilizando parafusos (PCI, 1973)



Figura 7.42 – Alças de cabo de aço para permitir içamento dos painéis

- 1- desforma
- 2- içamento
- 3- armazenamento
- 4- transporte
- 5- montagem na obra

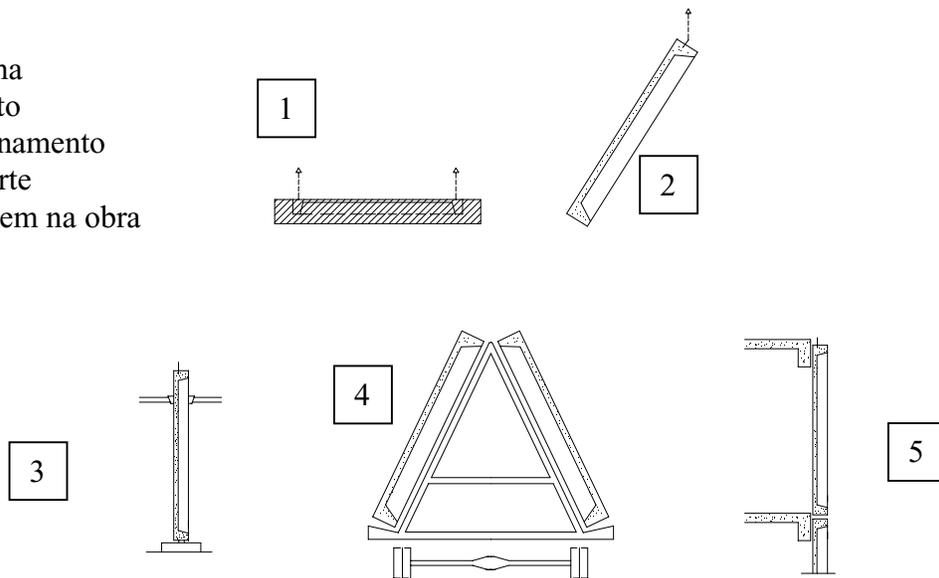


Figura 7.43 – Seqüência de içamento, transporte e montagem dos painéis (PCI, 1973)



Figura 7.44 – Correta posição para transporte dos painéis da fábrica da STAMP para o canteiro de obras

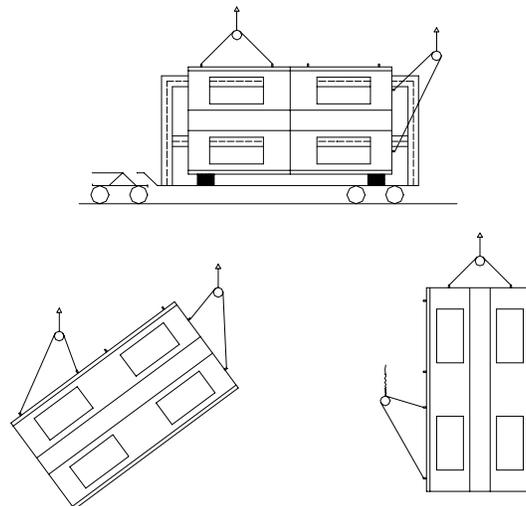


Figura 7.45 – Seqüência de içamento do painel do caminhão para a fachada de uma edificação (PCI, 1973)

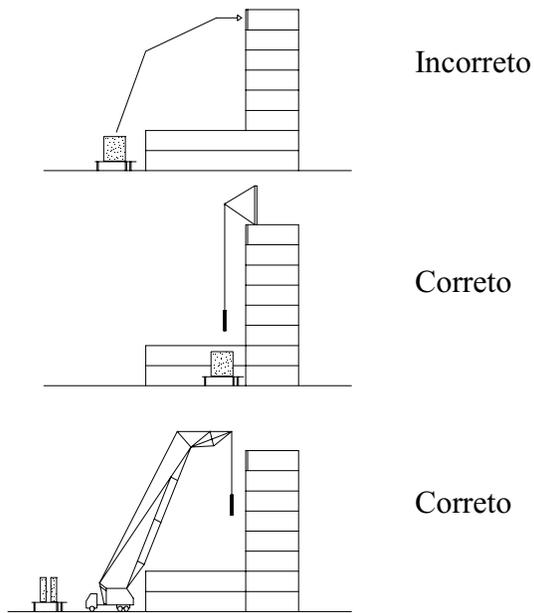


Figura 7.46 – Posicionamento incorreto e correto do caminhão para içamento do painel à edificação (PCI, 1973)

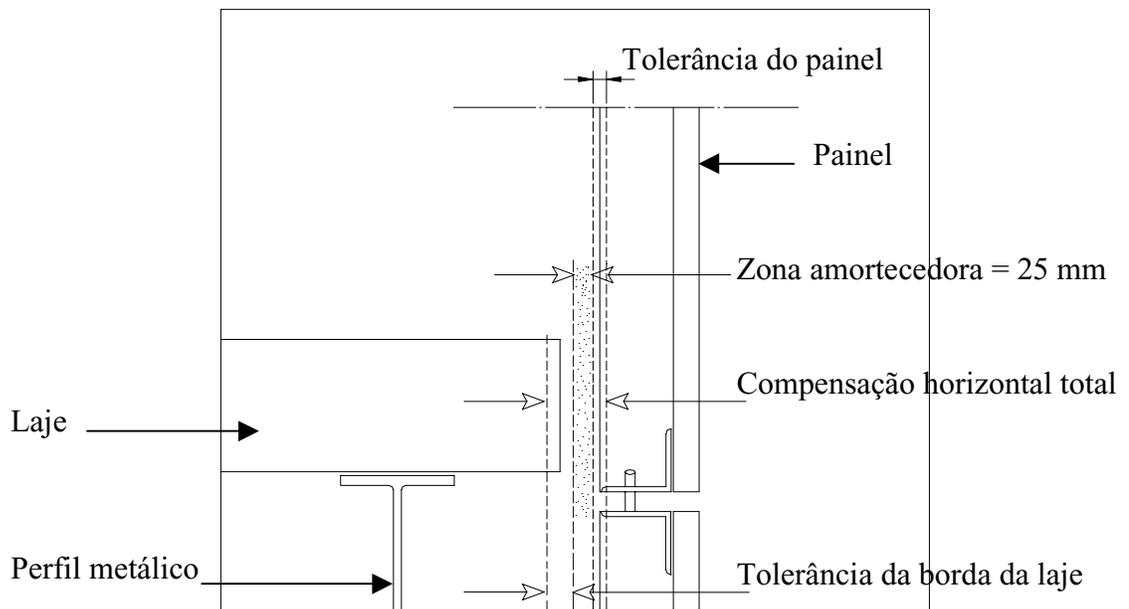


Figura 7.47 – Tolerância entre painel e laje (SCI, 1992)

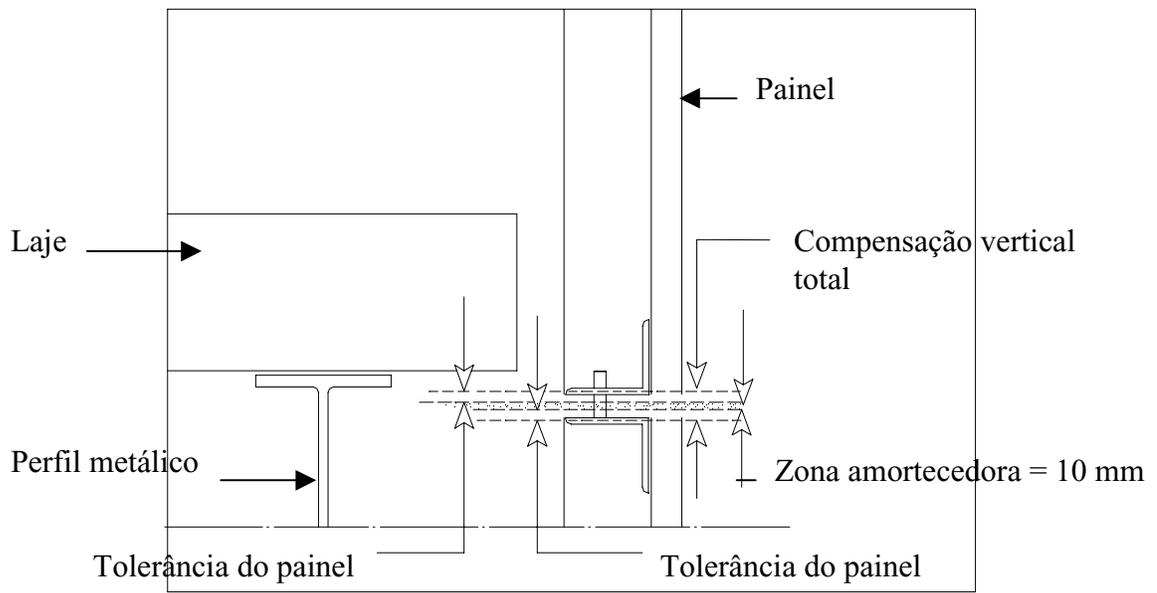


Figura 7.48 – Tolerância entre painéis (SCI, 1992)

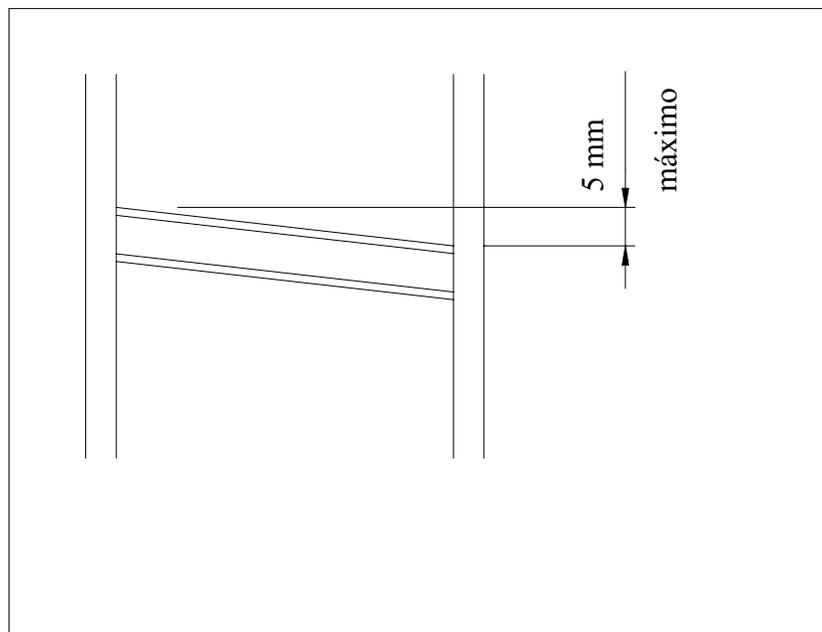


Figura 7.49 – Tolerância de desnível de vigas (SCI, 1992)

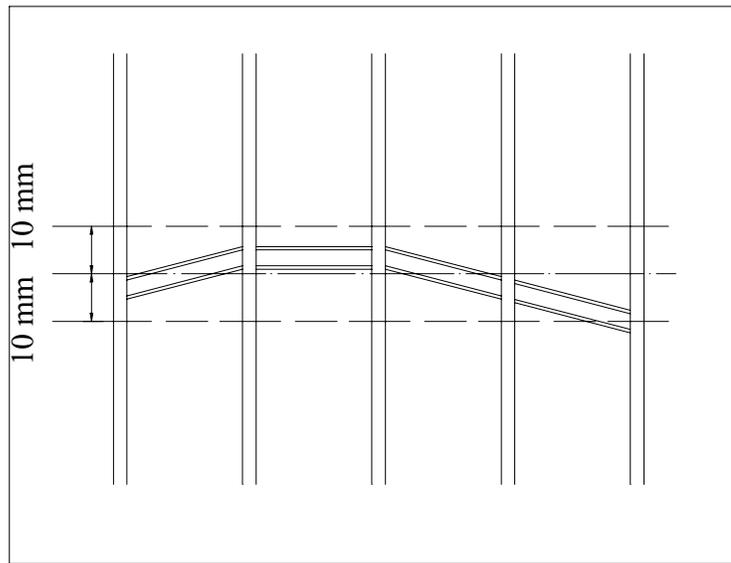


Figura 7.50 – Tolerância de desnível de vigas (SCI, 1992)

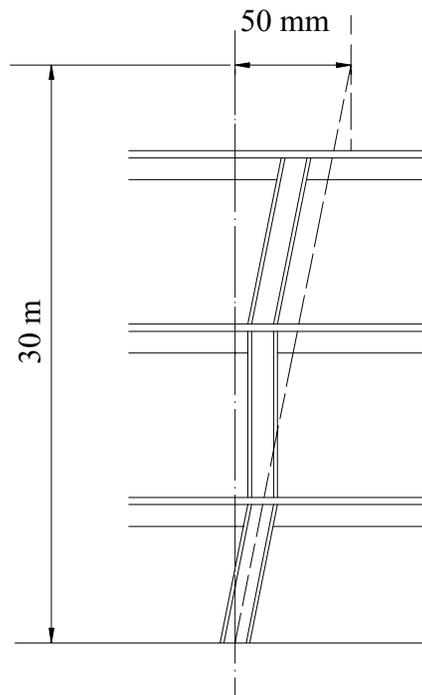


Figura 7.51 – Tolerância de desnível de colunas (SCI, 1992)

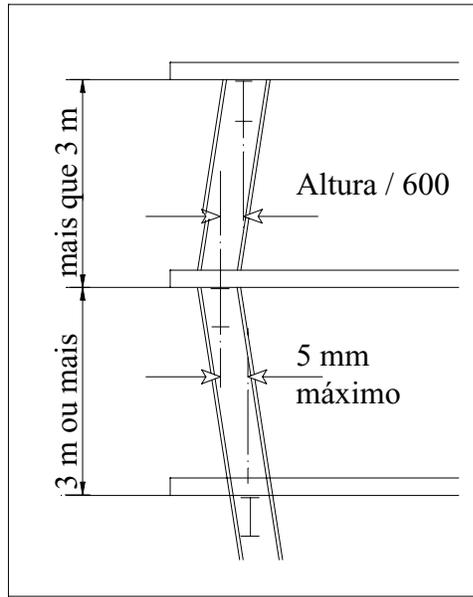


Figura 7.52 – Tolerância de desalinhamento entre vigas de pavimentos diferentes (SCI, 1992)

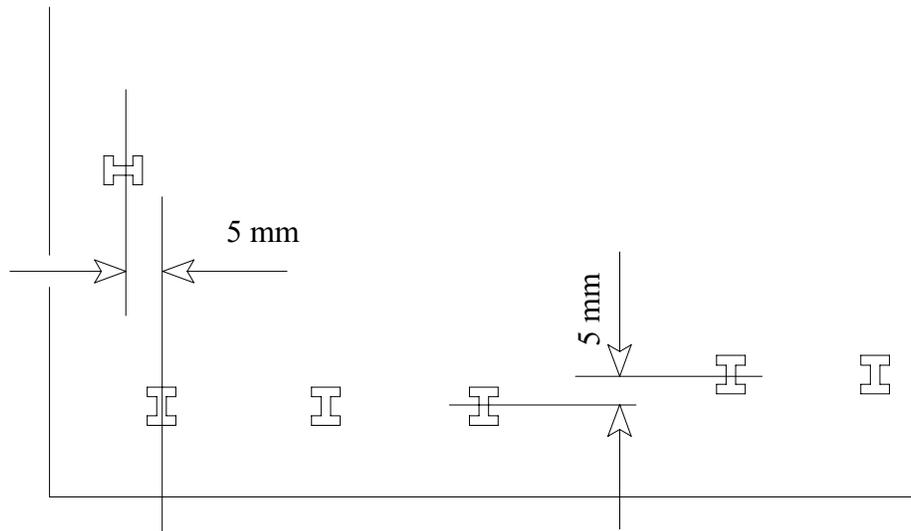


Figura 7.53 – Tolerância de desalinhamento entre colunas (SCI, 1992)

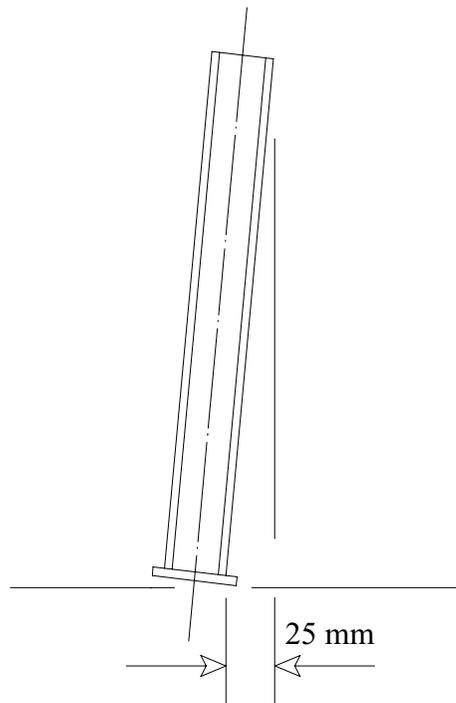


Figura 7.54 – Tolerância de desvio de coluna de um único pavimento (SCI, 1992)

7.6 Juntas entre Painéis

Segundo Lopes (1989), as juntas constituem a linha de separação entre dois elementos pré-fabricados que se acham justapostos ou superpostos, após a sua montagem e podem ser horizontais ou verticais. As juntas horizontais tem sua função similar às pingadeiras e podem seguir as mesmas observações descritas no item 7.1.1, sendo ainda estas juntas solicitadas a esforços de compressão originários do peso próprio da sobreposição de painéis. As figuras 7.55 e 7.56 exemplificam dois tipos de juntas horizontais onde se utiliza uma câmara de descompressão (cavidade entre dois painéis) e selantes para evitar a penetração de água pluvial.

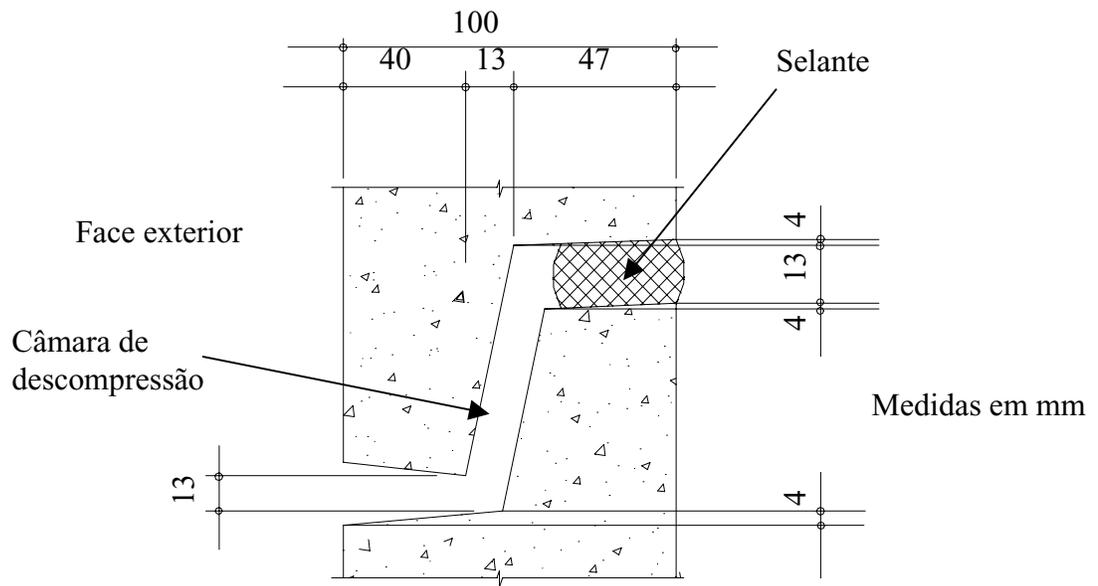


Figura 7.55 – Uso de selante nas juntas horizontais (PCI, 1973)

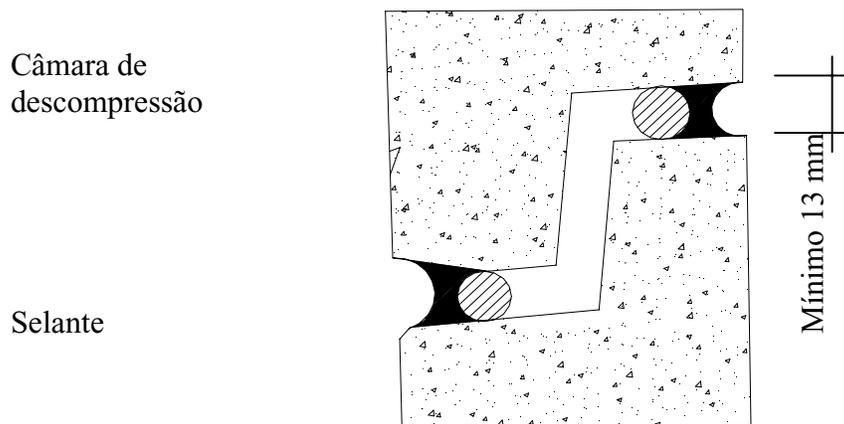


Figura 7.56 – Exemplo de câmara de descompressão nas juntas horizontais (PCI, 1973)

As juntas verticais são mais expostas às intempéries, exigindo maiores cuidados quanto à vedação e condução de água pluvial, evitando assim a penetração de água entre os painéis ou acúmulo de umidade nos mesmos. São dois os tipos de juntas verticais possíveis: com e sem câmara de descompressão. A câmara de descompressão é uma cavidade existente entre dois painéis (figura 7.56) que tem como principal função receber a água pluvial que por ventura possa passar pela primeira barreira ou selante de água e escoá-la, na forma de um duto de água pluvial, por toda a altura da fachada até atingir o esgoto pluvial, não permitindo que a água passe pela segunda barreira.

As juntas sem câmara de descompressão possuem, na sua maioria, somente um selante na superfície exterior do painel (figura 7.57) ou uma argamassa flexível na junta entre painéis. Estas juntas têm como principais vantagens o fato de serem adaptáveis às junções entre painéis e de possuírem custo inicial baixo. No entanto, caso sejam incluídos custos de manutenção, a reavaliação do uso deste tipo de junta deve ser considerado. Estas juntas apresentam performance satisfatória em climas moderados, no entanto, esta mesma performance depende muito da qualidade do material e instalação e vistorias constantes são necessárias para assegurar a estanqueidade à água.

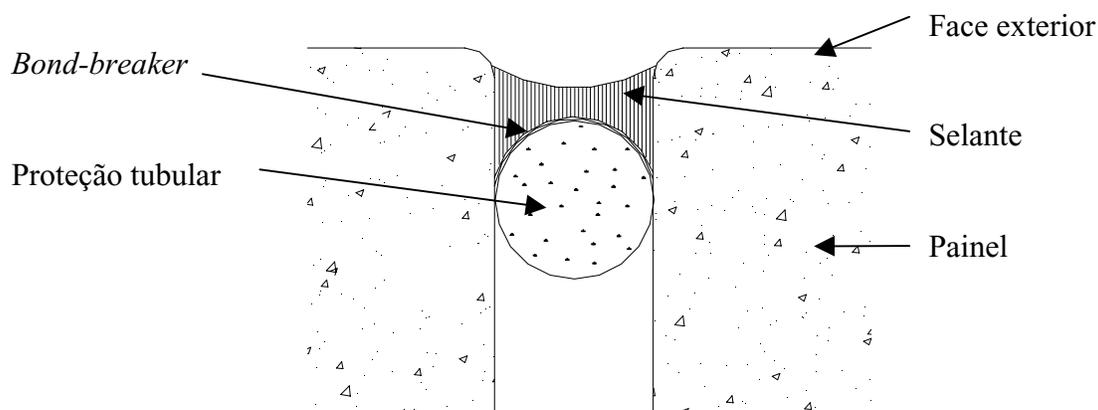


Figura 7.57 – Selante na superfície exterior do painel (PCI, 1973)

As juntas com câmara de descompressão consistem em uma barreira de chuva próxima à face exterior do painel e um selo de ar (neoprene) na face interna do painel, além da câmara de descompressão. A figura 7.58 representa um exemplo desta junta onde a barreira à chuva consiste em um tubo perfurado de cerca de 3 mm de diâmetro. A barreira de chuva impede a água de chuva de penetrar na junta mas, caso a água pluvial atravessasse tal barreira, ela será drenada pela câmara de descompressão para fora dos painéis. A umidade restante ou água que possa ainda penetrar por capilaridade é barrada pelo selo de ar. Estas juntas são ideais para construções sujeitas a exposições climáticas severas, tendo como única desvantagem o custo inicial elevado.

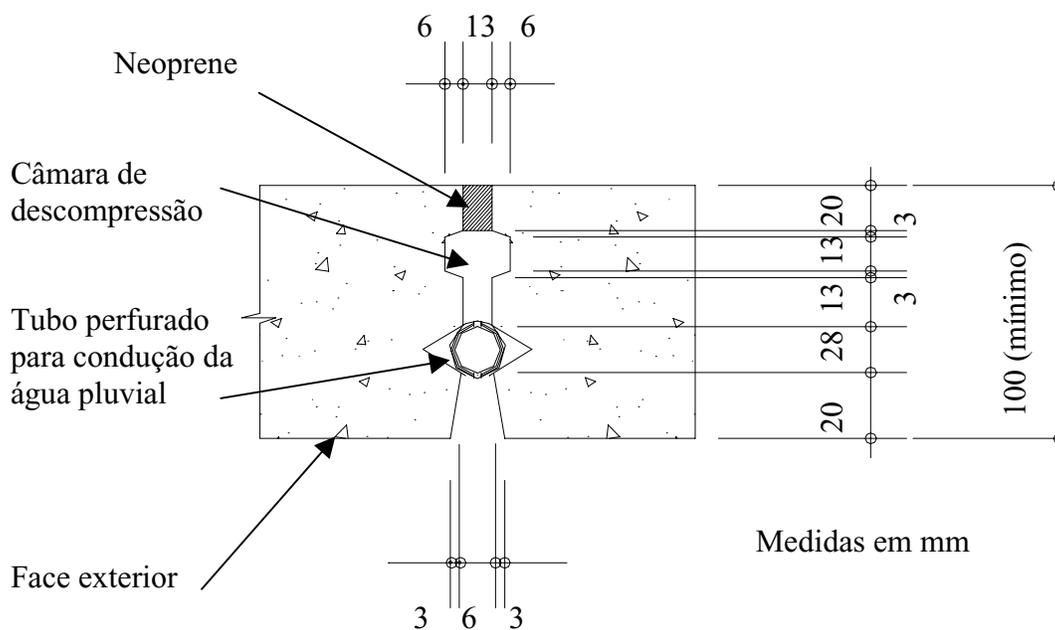


Figura 7.58 – Exemplo de câmara de descompressão (PCI, 1973)

8. METODOLOGIA ADOTADA

Este capítulo apresenta os parâmetros relevantes para estudo comparativo dos painéis de vedação. Expõe a metodologia adotada na análise dos painéis, descrevendo os critérios de desempenho estrutural, térmico, acústico, segurança ao fogo e estanqueidade à água.

8.1 Etapas de desenvolvimento do trabalho

As etapas de desenvolvimento do trabalho consistiram, inicialmente, na contextualização histórica, descrição e caracterização dos tipos de painéis de vedação existentes.

8.1.1 Contextualização Histórica

A contextualização histórica teve por finalidade situar o Brasil, tanto cronológica quanto tecnicamente, na evolução de técnicas construtivas que utilizam painéis de vedação e estrutura metálica. O objetivo desta etapa foi procurar criar uma análise crítica com relação à situação atual deste sistema construtivo no país, buscando compreender a cultura da construção civil brasileira.

8.1.2 Os painéis de vedação

Nesta etapa, fez-se um levantamento genérico de vários tipos de painéis existentes no mercado, seguido de uma classificação quanto ao uso e material ou matéria prima e posterior escolha de quatro tipos básicos de painéis. Em seguida, foi feita uma descrição detalhada de cada um destes, levando em conta dados tais como: características básicas dos materiais, composição, equipamentos e montagem do sistema construtivo, acabamento, etc.

8.2 Parâmetros de análise

A avaliação de desempenho de um determinado material ou sistema construtivo é obtida através da resposta dos mesmos quanto a requisitos e critérios de desempenho, determinados a partir das condições de exposição incidentes sobre o material durante sua vida útil. A melhor maneira de se obter informações sobre o desempenho de certo material é através do uso do mesmo e sua consequente reação frente a condições de exposição durante sua vida útil. Estas condições estão associadas a ação de fenômenos naturais (vento, chuva, radiação solar, etc.) e/ou do próprio uso (impactos e choques, sobrecargas, incêndio, etc.). No entanto, alguns dos materiais objeto deste estudo ainda não são largamente utilizados, não tendo ainda um tempo de uso bastante longo para se proceder a uma análise de durabilidade dentro da realidade climática e cultural do país. Mesmo assim, é possível proceder a uma análise através de estimativas obtidas por (Mitidieri Filho & Guelpa, 1992):

- a) ensaios e medidas, tanto em laboratório como em protótipos de partes da edificação ou sistema construtivo;
- b) modelos matemáticos ou físico-matemáticos que simulam o comportamento da edificação;
- c) julgamento técnico, baseando-se no conhecimento de especialistas e experiências acumuladas;
- d) inspeções realizadas em protótipos ou unidades já construídas e habitadas.

Ao se relacionar os itens acima descritos, pode-se perceber que os dois últimos tópicos já são descartados a priori, por se tratarem de materiais recentes no mercado, sua pouca utilização dificulta julgamentos baseados em conhecimentos acumulados em inspeções em protótipos já em uso. Cabe aqui destacar que alguns destes materiais são pouco utilizados por ainda não possuem tradição no mercado, passando o seu uso a ser mais difundido e adquirindo maior credibilidade após avaliação e certificação de órgãos competentes ou laboratórios especializados.

Também descarta-se o segundo item pelo fato de, a princípio, não ser o objetivo deste trabalho a criação de um modelo matemático ou físico-matemático capaz de promover a

simulação de comportamentos. O objetivo é analisar o desempenho com base em dados fornecidos por centros de pesquisa ou pelas próprias empresas, através de certificação comprobatória da qualidade do material e lisura dos dados fornecidos pelos mesmos.

8.3 Metodologia de avaliação dos painéis

O processo de avaliação de desempenho de um material ou técnica construtiva inovadora deve contemplar as seguintes etapas:

- a) Definição do método de avaliação a ser adotado;
- b) Definição dos requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos pela edificação, seus elementos e componentes, expressos qualitativa e quantitativamente;
- c) Identificação das exigências do usuário a serem satisfeitas;
- d) Identificação das condições de exposição a que estão submetidas a edificação, seus elementos e componentes.

Neste trabalho adota-se, como método de avaliação, a análise de dados obtidos mediante relatórios de ensaios em protótipos de painéis. Alguns dados são obtidos através de bibliografia especializada, entidades de ensino e pesquisa que tenham realizado tais ensaios ou através de dados fornecidos pelos fabricantes. Segue-se os critérios básicos contidos em Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social do IPT (1998) como diretrizes do processo de avaliação descrito acima.

Em muitos países desenvolvidos, devido ao grande desenvolvimento da construção racionalizada e industrializada, diretrizes similares a esta avaliação de desempenho de construções e materiais inovadores garantem, após prévia análise, desempenho satisfatório quanto ao uso a que se propõem. Estas diretrizes são adotadas como métodos de avaliação.

Para a identificação das exigências do usuário e das condições de exposição a que estão submetidas a edificação, será adotado o conceito de desempenho associado às condições de exposição do material e às necessidades do usuário. Este conceito, introduzido pela Divisão de Edificações do IPT, vem consolidando a prática da avaliação de desempenho

de determinado material desde a década de 1980 (Oliveira & Machado Júnior, 1998). Para a definição dos requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos pela edificação, utiliza-se os Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social desenvolvido pelo IPT (1998), critérios estes referentes ao conforto, segurança e durabilidade de uma habitação.

Para que estes painéis tenham uma aceitação no mercado e confiabilidade do usuário, é importante que os mesmos apresentem características similares à alvenaria convencional. Desta forma, é criado um quadro comparativo dos quatro tipos de painéis e de alvenaria tradicional, formulando-se uma avaliação de desempenho, baseado em uma análise normativa e prescritiva.

No entanto, para se atender cada etapa da metodologia proposta anteriormente, faz-se necessário compreender o conceito de desempenho e avaliação de desempenho. Segundo Mitidieri Filho & Guelpa (1992), a palavra desempenho, cujo significado é comportamento em utilização, caracteriza o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil. Os requisitos e critérios de desempenho expressam, respectivamente, as condições qualitativas e quantitativas às quais a edificação deve atender para satisfazer às exigências do usuário, quando submetida a determinadas condições de exposição.

Conhecidas as etapas para avaliação dos painéis e o aporte de informações necessárias para tal, prossegue-se o detalhamento de cada uma delas. Cabe ressaltar que a análise é baseada no caso de um edifício de uso habitacional, podendo, entretanto, ser adaptada ao uso e análise de edifícios de uso comercial.

A seguir apresenta-se as características das etapas de avaliação.

8.3.1 Definição dos métodos de avaliação a serem adotados

Ao se analisar novos materiais e técnicas construtivas, tem-se a tendência de compará-los aos tradicionais e tomá-los como referência. As normas nacionais para componentes empregados na construção de edificações têm, em sua maioria, caráter prescritivo, definindo as condições gerais e específicas a serem atendidas por um determinado produto, muitas vezes já consolidado pelo uso e com características bastantes conhecidas.

Como já descrito anteriormente, a análise quanto ao desempenho geral dos painéis é feita através de dados obtidos em ensaios e medidas executados por instituições de ensino e pesquisa. No entanto, esta análise deve seguir uma metodologia de avaliação de desempenho similar àquela empregada para sistemas construtivos e componentes inovadores pois, apesar destes painéis já serem largamente utilizados nos países desenvolvidos, são considerados inovadores para os parâmetros da cultura construtiva atual do Brasil.

8.3.2 Requisitos e critérios de desempenho

Os requisitos e critérios de desempenho consistem na tradução das exigências de caráter eminentemente humano para regras de qualidade que devem ser atendidas pelo edifício. São expressas como nível de segurança, habitabilidade e durabilidade, a serem atendidas quando o produto é submetido a certas ações. Estes níveis são possíveis de serem verificados analiticamente, através de ensaios e medidas, de inspeções em protótipos e em fábricas/usinas ou ainda através de julgamento.

Para a adequação destes requisitos e critérios à realidade brasileira, os Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social do IPT levam em consideração seis exigências do usuário: desempenho estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade à água, conforto acústico, desempenho térmico e durabilidade. Neste trabalho, serão analisados os painéis de acordo com os critérios de desempenho estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade à água e conforto acústico, explicados a

posteriori no item 8.4, não sendo analisado os parâmetros que se referem à durabilidade e desempenho térmico.

A análise da durabilidade depende de um número muito grande de variáveis, tais como durabilidade comprometida provocada por corrosão, radiação solar, aquecimento etc. Além desses, têm-se a intensidade de degradação da edificação e a combinação de vários agentes que influem no desgaste dos materiais que podem se alterar ao longo do tempo, tais como: possibilidade de infiltração de água, patologias da argamassa, apodrecimento da madeira, entre outros.

A avaliação do desempenho térmico objetiva verificar se determinado ambiente ou edificação atende às condições de conforto térmico do usuário. Esta análise é feita levando-se em consideração toda a edificação, e não só um elemento construtivo e seu respectivo comportamento térmico (Akutsu, 1998). Em seu trabalho, Akutsu (1998) apresenta um método para a avaliação do desempenho térmico e energético de edificações adequadas às condições climáticas do Brasil. O método apresentado adota o procedimento de Fanger (1972) para a caracterização das exigências humanas de conforto térmico, utiliza programas de simulação do comportamento térmico de edificações e incorpora critérios de avaliação.

A avaliação depende de uma série de dados, tais como características do microclima local (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade e direção de ventos, radiação solar) e zoneamento climático da região onde está construída a edificação. Além destes dados, há uma série de outras variáveis, como a caracterização das exigências humanas de conforto térmico e a caracterização da edificação e sua ocupação. Estas induzem a uma avaliação extremamente específica de uma determinada construção, com um conjunto de elementos construtivos bastante exclusivo e em uma determinada região pré-estabelecida. A caracterização das exigências humanas de conforto térmico está relacionada com os índices relativos à temperatura, umidade e velocidade do ar, temperatura radiante média, taxa metabólica e resistência térmica das vestimentas dos ocupantes. Quanto à caracterização da edificação, são levados em consideração, segundo os ambientes típicos a serem analisados, a caracterização das condições de

ocupação e os materiais. As condições de ocupação estão associadas ao regime de ocupação, número de ocupantes, atividades típicas dos ocupantes, equipamentos e processos que liberam calor e vapor de água no interior do recinto. Quanto aos materiais dos elementos e componentes da edificação, é importante observar propriedades tais como: capacidade térmica específica, densidade de massa, condutividade térmica, transmitância, refletância e absorvância à radiação solar, emissividade e forma, dimensões e orientação dos mesmos.

Além disso, esta avaliação só é válida para a edificação como um todo, e não para um determinado material ou elemento construtivo. Desta forma, não faz sentido uma análise específica de painéis de vedação, independente da conformação física do espaço, local onde será implementado e quais serão os materiais que comporão o todo construído. Uma avaliação do desempenho térmico de uma edificação em estrutura metálica usando painéis de vedação, aqui descritas, é realizada por Pinto (2000). Em seu trabalho, Pinto (2000) faz a análise do desempenho térmico de uma edificação comercial em estrutura metálica existente em Belo Horizonte, considerando as condições climáticas através da temperatura de bulbo seco, radiação solar, direção e velocidade do vento e umidade relativa. O trabalho faz um estudo comparativo do desempenho térmico de elementos internos e externos de vedação numa edificação em estrutura metálica. É utilizado o programa ESP-r de simulação (Clarke, 1993), onde são avaliados o painel de gesso acartonado e a alvenaria como elementos de vedação interna e a placa cimentícia e a alvenaria como elemento de vedação externa. Para esta análise é considerada a resposta global da edificação e não somente o comportamento térmico dos elementos de vedação.

Neste trabalho, apresenta-se uma avaliação da capacidade de isolamento térmico de cada painel, que será melhor detalhada no item 8.4.5.

8.3.3 Identificação das exigências do usuário

Basicamente, as exigências do usuário correspondem às condições que devem ser satisfeitas, sejam elas quanto ao conforto termo-acústico, segurança estrutural,

compatibilidade com a condição sócio-econômica do usuário, aceitação do mesmo quanto à técnica e material construtivo, englobando exigências de caráter fisiológico, psicológico, sociológico e econômico.

8.3.4 Condições de exposição

As condições de exposição estão relacionadas às ações atuantes sobre a edificação, seus elementos e componentes, durante sua vida útil. Estas ações, já descritas anteriormente, referem-se aos fenômenos naturais ou aqueles de uso da construção.

8.4 Critérios de desempenho

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade da Construção Habitacional (PBQP-H), coordenado pela Secretaria de Política Urbana (SEPURB) do Ministério de Planejamento e Orçamento, visa apoiar e incentivar a produção de habitações com qualidade, em grande quantidade e a custo condizente com a realidade brasileira. Desta forma, as equipes técnicas do IPT desenvolveram os Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social, visando estabelecer parâmetros de qualidade a serem seguidos em todos os empreendimentos habitacionais.

8.4.1 Desempenho estrutural

O desempenho estrutural é avaliado tendo em vista a segurança, isto é, leva-se em consideração o estado limite último e de utilização através da deformação dos elementos, fissuração e demais falhas que possam comprometer outras avaliações, tais como estanqueidade à água e durabilidade. São considerados ações passíveis de atuarem no edifício, tanto de caráter permanente quanto acidental, além de outros esforços tais como impactos, peças suspensas e solicitações por portas. Para a avaliação de desempenho estrutural devem ser observados os seguintes critérios:

- a) Solicitações resultantes do peso próprio, cargas estáticas de ocupação, ação do vento e outras cargas acidentais;
- b) Ação de impactos de corpo mole e de corpo duro;

c) Cargas de ocupação.

Neste trabalho não é abordado o item (a), pois este avalia ou cria limites máximos e mínimos de esforços estruturais, fissurações, deformações aceitáveis, recalques ou simplesmente avaliam as normas referentes à estruturas no Brasil, não sendo especificamente uma análise de desempenho de painéis não-estruturais.

8.4.1.1 Ação de impactos de corpo mole e de corpo duro

Os elementos e componentes da edificação, sob a ação de impactos de corpo mole, não devem:

- a) Sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança), para as correspondentes energias de impacto, tabelas 8.1 e 8.2.
- b) Sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), observando-se ainda os limites de deformações instantâneas e residuais, tabelas 8.1 e 8.2.
- c) Provocar nenhum dano a componentes, instalações e acabamentos acoplados, de acordo com as energias de impacto, tabela 8.1.

O ensaio de impacto de corpo mole segue as diretrizes gerais da norma MB 3256 da ABNT e se caracteriza pela aplicação de impactos por meio de um saco cilíndrico de couro (diâmetro de 35 cm e altura de 90 cm) preenchido com areia seca, cuja massa total é de 40 kg. Este saco é abandonado em movimento pendular de acordo com as alturas, medidas a partir do centro de gravidade, conforme indicado na tabela 8.3.

Este ensaio visa verificar o comportamento de paredes quando submetidas a choques acidentais provocados pelo próprio uso ou por tentativa de intrusões, intencionais ou não. Os ensaios devem ser executados, preferencialmente, em protótipo da habitação. Caso sejam executados em laboratórios, as condições de vinculação da parede deverão ser representadas da melhor forma possível.

Tabela 8.1 – Impactos de corpo mole em paredes internas (IPT, 1998)

Componente	Energia de Impacto (J)	Deslocamento máximo (mm)		Exigências / observações
		d_{hi}	d_{hr}	
Paredes com função estrutural	120			Sem nenhum dano
	180	1/250		Sem nenhum dano
	180			Sem nenhum dano
	180		1/1000	Sem nenhum dano
	240**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
	360**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
Paredes sem função estrutural	60			Sem nenhum dano
	120	1/120		Sem nenhum dano
	120			Sem nenhum dano
	120		1/180	Sem nenhum dano
	180**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
	240**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos

(**) Impactos de Segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade; d_{hi} – Deslocamento horizontal; d_{hr} – Deslocamento horizontal residual.

Tabela 8.2 – Impactos de corpo mole em pilares e paredes externas (IPT, 1998)

Componente	Energia de Impacto (J) e sentido de aplicação		Deslocamento máximo (mm)		Exigências / observações
	De fora para dentro	De dentro para fora	d_{hi}	d_{hr}	
Pilares* e paredes com função estrutural	120	120			Sem nenhum dano
	240	180	1/250		Sem nenhum dano
	240	180			Sem nenhum dano
	240	180		1/1000	Sem nenhum dano
	360**	360**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
	480**	480**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
	720**				Admitidas fissuras, escamações e outros danos
Paredes sem função estrutural	120	60			Sem nenhum dano
	180	120	1/200		Sem nenhum dano
	180	120			Sem nenhum dano
	180	120		1/800	Sem nenhum dano
	240**	240**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
	360**	360**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
	720**				Admitidas fissuras, escamações e outros danos

(*) As exigências para pilares correspondem à condições “de fora para dentro”, aplicando-se os impactos no sentido mais desfavorável; (**) Impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade; d_{hi} – Deslocamento horizontal; d_{hr} – Deslocamento horizontal residual.

Tabela 8.3 – Alturas utilizadas no ensaio de impacto de corpo mole (IPT, 1998)

Altura de queda (cm)	Energia de impacto (J)
15	60
30	120
45	180
60	240
90	360
120	480
180	720

Segundo ainda os mesmos critérios de desempenho, os elementos e componentes da edificação, sob a ação de impactos de corpo duro, não devem:

- a) Sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano sob ação dos impactos de utilização conforme indicados na tabela 8.4;
- b) Sofrer ruptura ou transpassamento sob ação dos impactos de segurança, tabela 8.4.

O ensaio de corpo duro (MB 3256 da ABNT) segue as mesmas diretrizes gerais do ensaio de impacto de corpo mole e se caracteriza pela aplicação de impactos por meio de esferas maciças de aço, abandonadas em movimento pendular, aplicando-se dez impactos de cada modalidade (utilização ou segurança) regularmente distribuídos pela superfície do corpo-de-prova (IPT, 1998). Os impactos devem seguir as indicações conforme relacionadas na tabela 8.5. As mesmas observações finais descritas para os ensaios de impacto de corpo mole são válidas para os ensaios aqui descritos.

Tabela 8.4 – Impactos de corpo mole em pisos (IPT, 1998)

Energia de impacto (J)	Deslocamento máximo (mm)		Exigências / observações
	d_{vi}	d_{vr}	
120			Sem nenhum dano
240	1/300*		Sem nenhum dano
240			Sem nenhum dano
240		1/900*	Sem nenhum dano
360			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
480**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos
720**			Admitidas fissuras, escamações e outros danos

(*) Somente para pisos suspensos; (**) Impactos de segurança: não se admite ruptura ou perda de estabilidade; d_{vi} – Deslocamento vertical; d_{vr} – Deslocamento vertical residual

Tabela 8.5 – Parâmetros utilizados no impacto de corpo duro (IPT, 1998)

Altura da queda (cm)	Energia de impacto (J)	Massa da esfera (g)
200	1	50
50	2,5	500
75	3,75	500
100	5	500
100	10	1000
200	20	1000
250	25	1000

8.4.1.2 Cargas de ocupação

Para a análise de cargas de ocupação, são levados em consideração critérios, como peças suspensas, sustentação de rede de dormir (critério optativo), interação entre paredes e portas e cargas centradas em piso. Destes quatro critérios acima relacionados, somente serão analisados peças suspensas e interação entre paredes e portas, critérios estes de maior interesse para análise em edificações comerciais.

Para peças suspensas, as paredes internas e externas devem resistir a uma carga vertical excêntrica de 784 N, ou carga equivalente a duas vezes a carga a ser transmitida pela peça suspensa, sem que ocorram:

- a) $d_{hi} > h/500$, onde h é a altura da parede e d_{hi} é o deslocamento horizontal.
- b) $d_{hr} > h/2000$, onde h é a altura da parede e d_{hr} é o deslocamento horizontal residual.
- c) Qualquer dano fora da região de aplicação da carga, em qualquer face da parede
- d) Arrancamento dos fixadores, rupturas, fissuras ou escamações nas regiões de transmissão da carga. No entanto, pequenas indentações ou amassamentos são aceitos.

Desta forma, este critério permite a análise da reação de determinado componente construtivo submetido a cargas provenientes de armários, prateleiras, lavatórios etc, que são fixados à mesma, proporcionando uma simulação próxima à realidade. Devem ser empregados elementos e técnicas de fixação especificados pelos fornecedores dos sistemas construtivos.

As paredes devem permitir o acoplamento de portas nas seguintes condições:

- a) Quando submetidas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não devem apresentar quaisquer danos, tais como: rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamento em juntas entre painéis, etc;
- b) Quando sob ação de um impacto de corpo mole com energia de 240 J, aplicado no centro geométrico da folha da porta, não deve ocorrer deslocamento ou arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. No

entanto, neste caso, admite-se, no contorno do marco, a ocorrência de danos localizados, tais como fissurações e estilhaçamentos.

Para o ensaio de fechamento brusco é aplicada, perpendicularmente ao plano da porta, uma força de 150 N no sentido de provocar seu fechamento. A folha, antes da aplicação da força, é mantida aberta num ângulo de 60° com o plano do batente (Oliveira & Machado Junior, 1998). Além disto, deve-se ainda proceder, para portas em paredes externas, a aplicação de dois impactos de 240 J, sendo que o primeiro deve ser feito no sentido do fechamento da porta e o segundo no sentido de abertura do mesmo.

O procedimento do ensaio consiste em, após a fixação de mãos francesas e relógios comparadores na face oposta da parede ensaiada, aplicar a carga (contra pesos) gradativamente até atingir 1 KN. A carga permanece aplicada por 24 horas, quando são registradas as deformações horizontais e 15 minutos após a retirada da carga, as deformações residuais (Oliveira & Machado Júnior, 1998).

8.4.2 Segurança ao fogo

De acordo com os Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social do IPT (1998), as metas necessárias para se atingir a segurança ao fogo em uma habitação unifamiliar referem-se a limitação do risco de propagação de incêndio e garantia de segurança do usuário. Para tal, deve-se minimizar o crescimento de focos de incêndio e a gravidade dos mesmos. Os critérios de segurança ao fogo abrangem as características físicas dos elementos construtivos, os aspectos construtivos, as instalações elétricas, as rotas de fuga e a implantação do conjunto habitacional.

A resistência ao fogo é a capacidade de determinado elemento construtivo manter sua estabilidade ou impedir a passagem de fogo entre ambientes quando expostos a um incêndio num determinado período de tempo. Do conjunto dos critérios relacionados acima, são analisados somente as características físicas dos elementos construtivos, e mais especificamente, a resistência ao fogo. Isto se deve ao fato de que a resistência ao

fogo, apesar de estar dentro de critérios para habitações, pode ser, também, adaptada às exigências de critério para elementos construtivos em unidades não residenciais, podendo os dados obtidos em tal análise serem totalmente válidos.

Os critérios estabelecidos para análise dos materiais quanto à resistência ao fogo são apresentados na tabela 8.6, onde os sistemas construtivos são divididos em dois tipos: o tipo I, que incorpora carga térmica ativa inferior a 5 kg/m^2 e o tipo II, onde a carga térmica ativa é superior a 5 kg/m^2 . Estes dois níveis de exigências são baseados no fato de se evitar que fachadas se tornem superfícies radiantes e/ou a ruína total ou parcial da habitação. A carga térmica, parâmetro determinante dos dois tipos de sistemas construtivos, é a quantificação de materiais combustíveis presentes nos elementos construtivos, ambientes ou unidades construtivas.

Para análise dos painéis quanto à resistência ao fogo, levar-se-á em consideração a situação mais abrangente e ao mesmo tempo a mais crítica, ou seja, paredes entre habitações geminadas. Como já explicado anteriormente, este estudo trata não de habitações e sim de ambientes comerciais. No entanto, ao se adotar a situação mais crítica e abrangente, tem-se como garantido sua adaptabilidade a ambientes não residenciais.

A resistência ao fogo deve ser julgada de acordo com os critérios de estabilidade, de estanqueidade e de isolamento térmica. Em relação à estabilidade, a falência é julgada em função da ocorrência de colapso do corpo de prova. Para a estanqueidade, a falência é julgada em função da ocorrência de rachaduras ou outras aberturas, através das quais podem passar chamas e gases quentes capazes de dar ignição a um chumaço de algodão (IPT, 1983 c). A falência da isolamento térmica é julgada em função de ocorrência, na face não exposta ao fogo do corpo de prova, de incrementos de temperaturas superiores a 140° C , na média dos pontos de leitura, ou superiores a 180° C , em qualquer ponto de leitura.

Tabela 8.6 – Critérios relativos à resistência ao fogo (IPT, 1992 b)

Elementos construtivos	Resistência ao fogo (horas)								
	Sistema tipo I			Sistema tipo II					
				Distância entre fachadas < 5 m			Distância entre fachadas ≥ 5 m		
	Isolamento térmico	Estanqueidade	Estabilidade	Isolamento térmico	Estanqueidade	Estabilidade	Isolamento térmico	Estanqueidade	Estabilidade
Estruturas (incluindo paredes estruturais)			1/2			1			1/2
Forro + parede	1/2	1/2	1/2			1	1/2	1/2	1/2
Cobertura			1/2			1			1/2
Fachadas (excluindo portas e janelas)		1/2	1/2		1/2	1		1/2	1/2
Fachadas cegas (distância entre habitações ≤ 1,5m)	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1			
Paredes entre habitações geminadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Paredes internas			1/4			1/4			1/4

O ensaio é executado dentro de um forno apropriado e são utilizados instrumentos de medição de temperatura (termopares, por exemplo) para o forno e para a face do material não exposta ao fogo.

8.4.3 Estanqueidade à água

Este critério é de suma importância para a análise de conforto humano para uma determinada edificação, pois a estanqueidade à água não só é responsável pela salubridade do ambiente (a umidade propicia o desenvolvimento de fungos), bem como à durabilidade da edificação e do desempenho térmico do mesmo. A umidade desencadeia vários processos degenerativos (desagregação, lixiviações, corrosões e apodrecimento, dentre outros), além de ser responsável pelo aumento da condutividade térmica dos materiais. Para análise dos critérios de estanqueidade à água, são levados em consideração cinco regiões: fundação, fachadas, divisórias internas, pisos e coberturas.

O ensaio para verificação da estanqueidade à água de paredes externas consiste em submeter, durante um tempo determinado, a face externa de um corpo-de-prova de parede a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face (IPT, 1998). Para tal, é utilizado uma câmara de ensaio estanque, com dimensões compatíveis com o corpo-de-prova, com equipamentos para aplicação de pressão (sistema composto por ventoinha, tubulação e registros reguladores de pressão), dispersão de água (reservatório de água, tubulações, registros e tubo com dispersores de água), medidores de pressão e vazão e grampos de fixação. São realizados ensaios em pelo menos dois corpos-de-prova, utilizando uma vazão constante de $3,0 \pm 0,3 \text{ dm}^3/\text{minuto}$ e pressão pneumática específica, tendo duração máxima de sete horas. Para a avaliação *in loco* da permeabilidade à água de fachadas e divisórias internas, é utilizado uma câmara acoplada à parede em formato de caixa, com bureta graduada em cm^3 para manutenção da pressão constante no interior da câmara e para medir eventual infiltração de água na parede. Tanto a bureta quanto a câmara devem ser preenchidas com água, registrando o

nível da mesma na bureta em meia, uma, duas, quatro, seis e vinte e quatro horas após o início do ensaio.

Para a verificação *in loco* da estanqueidade de pisos laváveis, submete-se os mesmos a uma lâmina d'água de 10 mm em relação ao nível mais alto do piso durante 24 horas. Deve-se também colocar água em um recipiente impermeável para controle da água perdida por evaporação e proceder medidas horárias tanto da lâmina d'água quanto a água do recipiente durante as primeiras seis horas para controle de evaporação. Para a medida do nível d'água, deve-se utilizar uma ponta limnimétrica, equipamento de precisão composto de haste graduada, cuja ponta tangencia a superfície da água. O conjunto haste/ponta é regulável, permitindo acompanhar as variações de nível e realizar a medição (IPT, 1998). Após 24 horas de ensaio, procede-se às medidas finais e à análise dos resultados, obtidos através das diferenças de nível entre cada período e o inicial, levando-se em consideração a água por evaporação.

A seguir descreve-se as condições toleráveis para cada região da edificação.

8.4.3.1 Fundação

A fundação não deve permitir passagem de umidade do solo para paredes, pisos etc.

8.4.3.2 Fachadas

Para as fachadas deve-se observar que as janelas não devem permitir qualquer forma de infiltração d'água; não propiciar penetração d'água com o conseqüente escoamento pela janela; não permitir penetração d'água com escoamento ou gotas aderentes. Além disso, não devem possibilitar infiltrações de água na face interna das paredes da fachada que estiver em contato com áreas molháveis (banheiros, cozinhas etc).

São tolerados infiltrações somente no corpo da janela. O aparecimento de manchas na face oposta à incidência de água não deve exceder 10 % da área da fachada e uma penetração de no máximo 3 cm³ de água após 24 horas de ensaio. Estes critérios são

observados em função da região brasileira onde será utilizado. São observadas ainda algumas considerações, tais como: possibilidade de corrosão de partes metálicas, degradações dos materiais e áreas impermeabilizadas.

8.4.3.3 Divisórias internas

As divisórias internas têm como função única não possibilitar infiltrações de água em paredes internas de banheiros, cozinhas etc., tolerando apenas, após 24 horas de ensaio, a penetração máxima de 3 cm³ de água em uma área de 34 cm x 16 cm.

8.4.3.4 Pisos

Os pisos não devem permitir infiltração d'água em sua superfície e nos encontros com paredes. É tolerado apenas no máximo 0,3 dm³ de água por metro quadrado, infiltrada após 24 horas de exposição a uma lâmina d'água de 10 mm de altura, tendo como referência o ponto mais alto do piso. Levando-se em consideração a altura máxima do lençol freático do solo em contato com o piso, o mesmo deve ser estanque à água. Deve-se desprezar a passagem de umidade do solo para o piso caso haja, sob este, uma camada drenante de no mínimo 6 cm de altura.

8.4.3.5 Cobertura

Os critérios para cobertura estão estritamente ligados ao desempenho das lajes de cobertura e telhados, tolerâncias e condições de exposição, não tendo a sua análise vínculo direto com fachadas, divisórias e fundações.

8.4.4 Conforto acústico

As diretrizes relativas à análise do desempenho acústico de uma edificação ou material construtivo estão diretamente relacionadas ao isolamento sonoro (acústico) aos ruídos tanto externos quanto entre unidades ou ambientes, proporcionado pelas fachadas e paredes divisórias, respectivamente.

O isolamento acústico é um dos parâmetros importantes do controle de ruído nos edifícios, quando se minimiza a passagem do som de um compartimento para outro ou vice-versa. A transmissão de ruídos pode se dar pela passagem direta na parede ou painel e pela passagem indireta via flanqueamento, através de pilares, lajes e/ou paredes confluentes e via aérea. Uma outra via pode ser através de elementos e componentes que integram a parede ou painel, tais como janelas, aberturas, portas, dutos, eletrodutos, tubos, entreforros e entrepisos. Basicamente, são dois os critérios a serem avaliados: 30 dB de isolamento sonoro bruto para o conjunto fachada/cobertura e 45 dB de isolamento sonoro bruto para paredes internas à edificação (IPT, 1998).

É importante salientar que, normalmente, a lei que rege o isolamento dos sons aéreos é chamada de Lei da Massa ou densidade. Isto significa que quanto mais pesada for a parede, mais isolante sonora ela será. Uma parede sólida possui as qualidades de massa e rigidez, e portanto pode exibir ressonâncias e modos de vibração. Em baixas frequências, a transmissão depende basicamente da rigidez da parede, isto é, a massa e o amortecimento não são importantes. Em frequências um pouco mais altas, o comportamento da parede será de ressonância. Em uma frequência em torno do dobro da frequência de ressonância mais baixa, a parede se comporta como um conjunto de pequenas massas, e é dito que esta região de frequência é controlada pela massa. A partir do desenvolvimento de considerações sobre transferência de energia entre as ondas sonoras e as partículas da parede, chega-se a chamada Lei de Massa.

$$PT = 20 \log(Mf) - 47,4 \text{ (dB)} \quad (8.1)$$

onde M é a densidade superficial da parede (kg/m^2) e f é a frequência sonora incidente (Hz).

No entanto, faz-se necessário afirmar que a lei de massa muitas vezes não é o suficiente para garantir o isolamento sonoro. Neste caso deve-se utilizar o efeito sanduiche ou parede composta, que consiste em combinar painéis leves afastados, formando um espaço entre os mesmos preenchido pelo ar ou material isolante (lã de vidro ou lã de

rocha). Sendo assim, a densidade é um dado importante, não sendo, entretanto, uma informação primordial para atestar e confirmar as características isolantes da parede.

Para proceder à avaliação de isolamento sonoro de paredes externas ou internas, realiza-se ensaios, *in loco* ou em protótipos. Os medidores de nível sonoro normalmente utilizados possuem calibrador de microfone, gerador de ruído, caixas acústicas, amplificadores para o sinal do gerador e, como acessório, protetor de vento para o microfone externo. Para a avaliação de paredes externas, são colocadas caixas acústicas distanciadas entre 4 m e 5 m da posição central inferior da fachada e distribuídas de modo aproximadamente regular ao redor dessa posição. Recomenda-se inclinar as caixas acústicas 60° e 120° em relação ao plano da fachada. O medidor de nível sonoro deve ser colocado a 2 m de distância da parede e a 1,5 m do piso, aproximadamente centrado em relação à fachada. O gerador de ruído deve ser ligado ao amplificador e este às caixas acústicas. É posteriormente gerado ruído externo à edificação ou material construtivo e são medidos os níveis sonoros estabelecidos em condição de regime estável. A medição dos níveis sonoros é feita em dB (A) e o nível de regime de ruído externo gerado pelas caixas acústicas deve ser, no mínimo, 10 dB (A) acima de outros prováveis ruídos e sons ocorridos durante a medição. A posição do medidor interno deve ser mudada tanto em relação à parede quanto à altura da mesma, obtendo-se assim um conjunto de resultados no espaço de medição sonora do recinto.

No caso da medição do isolamento sonoro de paredes internas, o ensaio consiste em gerar ruído num ambiente e medir o nível de ruído neste e no ambiente adjacente (ambiente de emissão e recepção, respectivamente). São utilizados os mesmos equipamentos que no ensaio para paredes externas, exceto o protetor de vento para o microfone externo.

Pode ainda ser estimado o desempenho acústico através da Classe de Transmissão de Som Aéreo (CTSA). Esta grandeza é obtida em laboratório para determinado componente construtivo (parede, janela etc.) e, desta forma, não pode ser confundido com o isolamento sonoro tanto para fachadas quanto para paredes internas. Entretanto, pode-se proceder a avaliação acústica do conjunto de elementos construtivos levando-se em consideração valores obtidos só para a parede, desde que os demais elementos

tenham CTSA maior ou igual à mesma. Neste trabalho, só serão avaliados os painéis em separado e considerados o CTSA ou dB(A) dos mesmos.

8.4.5 Isolamento térmico

A condutividade térmica é uma propriedade do material que traduz a capacidade deste de transportar calor. O valor desta propriedade permite que seja avaliado se determinado material é bom ou mal condutor térmico. O isolamento térmico, traduzido pela resistência térmica, representa a capacidade de certo material de dificultar a passagem do calor.

A resistência térmica à condução de calor para uma parede plana é dada por:

$$R = \frac{\Delta x}{kA} \quad (8.2)$$

Onde Δx representa a espessura da parede; k a condutividade térmica do material da parede e A a área de troca de calor. Para uma parede composta, tipo sanduíche, a resistência térmica é calculada pela soma das resistências individuais, ou seja,

$$R_{eq.} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x}{k_i A} \quad (8.3)$$

sendo n o número de elementos planos que compõem a parede tipo sanduíche.

Em alguns países, principalmente aqueles de clima frio, cujo objetivo é economizar a energia gasta com aquecimento, os métodos tradicionais de avaliação do desempenho térmico de edificações adotam como indicador a resistência térmica ou a condutividade térmica dos elementos da edificação. Neste caso, os critérios de avaliação indicam valores limites para esse parâmetro em função do tipo de uso da edificação e das condições climáticas locais. O objetivo é limitar as perdas de energia utilizada no aquecimento dos ambientes (Akutsu, 1998).

Para uma situação de clima quente, caso predominante no Brasil, não é suficiente adotar um procedimento baseado na resistência térmica dos elementos da envoltória para caracterizar o comportamento térmico da edificação (Costa, 1982; Pinto, 2000). Neste caso, é importante a resposta da edificação como um todo, ou seja, é necessário considerar simultaneamente todas as trocas térmicas dinâmicas que ocorrem nos ambientes, como as possíveis perdas de energia pelo ambiente, seja pela ventilação, seja por condução/convecção através de alguns elementos da edificação. O equilíbrio entre as perdas e ganhos de energia que ocorrem simultaneamente deve ser alcançado. Desta forma, a capacidade térmica da edificação não pode ser desprezada e a resistência térmica da envoltória não é suficiente para caracterizar o comportamento térmico da edificação (Akutsu, 1998).

Neste trabalho, pretende-se apresentar somente as características térmicas dos elementos de vedação e assim proceder apenas uma avaliação da capacidade de isolamento térmico dos mesmos, através da resistência térmica dos elementos que compõem a parede.

9. ANÁLISE COMPARATIVA DOS PAINÉIS

Após a definição dos parâmetros de análise, a caracterização e justificativa dos mesmos para os painéis de vedação, faz-se a avaliação destes elementos construtivos. Esta avaliação é baseada nos dados obtidos por ensaios anteriormente executados.

Para tal análise, optou-se em reunir tais dados em dois grupos de informações. No primeiro grupo estão selecionados dados direta ou indiretamente vinculados à segurança do usuário ligados ao desempenho estrutural e, no segundo, estão agrupados dados relativos a características termo-acústicas e estanqueidade.

Os quatro tipos de painéis analisados neste trabalho estão listados nas tabelas 9.1 e 9.2, juntamente com alvenaria convencional. Entretanto, cada um dos tipos de painéis possui uma infinidade de tipologias, formas de utilização, dimensões e outras alterações existentes entre componentes de diferentes fabricantes. As características dos painéis analisados são descritas a seguir:

- a) Alvenaria comum: alvenaria composta por tijolo maciço com espessura de 100 mm, revestido com argamassa de 25 mm nas duas faces.
- b) Paineis de gesso acartonado: parede com espessura total de 100 mm composta por uma chapa de gesso de 12,5 mm de espessura, em cada face da parede, e interior preenchido com lã de vidro (figura 4.2).
- c) Paineis de concreto celular autoclavado: painéis com comprimento de 3000 mm, largura de 400 mm e espessura de 100 mm, sem revestimento, com densidade aparente de 750 kg/m^3 (figura 5.3).
- d) Paineis de poliestireno expandido (EPS): parede com espessura total de 100 mm composta por alma em poliestireno expandido de 40 mm entre duas malhas metálicas com 30 mm de argamassa projetada (figura 6.2).
- e) Paineis pré-moldados de concreto: painéis com comprimento de 3500 mm, largura de 2700 mm e espessura de 100 mm, com alma constituída por duas placas de poliestireno expandido de 1600 mm de comprimento, por 2500 mm de largura e 50 mm de espessura cada, emolduradas e revestidas em concreto armado com espessuras de 100 mm e 25 mm, conforme figura 9.1.

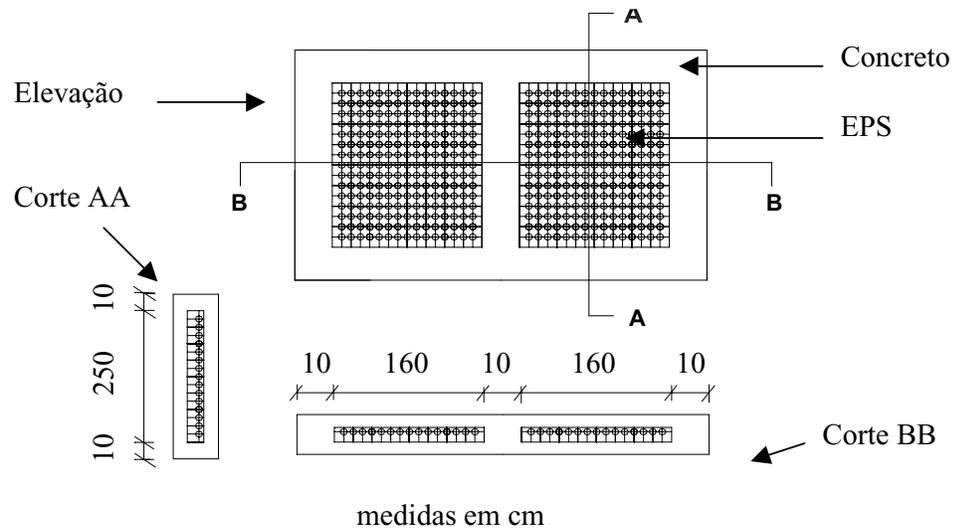


Figura 9.1 – Seção do painel pré-moldado de concreto (Consultare, 1999)

9.1 Desempenho estrutural

Os parâmetros necessários à análise de desempenho estrutural e de segurança ao fogo são apresentados na tabela 9.1. Nesta tabela têm-se os valores relativos às ações de impactos (impacto de corpo mole e impacto de corpo duro) e as cargas de ocupação (peças suspensas e interação entre paredes e painéis), além de resistência ao fogo e massa superficial.

Por se tratarem de materiais diversos, que trabalham de maneira diferenciada uns dos outros, alguns painéis são exigidos apenas à flexão e outros à compressão. Desse modo, optou-se por não analisar comparativamente os painéis quanto a estes esforços.

Em relação a alvenaria comum, não são apresentados alguns itens em função da variedade de fabricantes, dos materiais constituintes e da falta de uma padronização. Para os painéis de concreto celular autoclavado e pré-moldado de concreto, os itens não apresentados não são significativos em função de sua elevada resistência às ações de peças suspensas e interação entre paredes e portas.

Para resistência ao fogo do painel de gesso acartonado adotou-se, excepcionalmente, a

Tabela 9.1 – Dados referentes à segurança do usuário

	Impacto de corpo mole	Impacto de corpo duro	Peças suspensas	Interação entre paredes e portas	Resistência ao fogo (minutos)	Massa superficial (kg / m ²)
Alvenaria comum	–	–	–	–	150 (7)	240 (9)
Painel de gesso acartonado	Satisfatório (1)	Satisfatório (1)	Satisfatório (1)	Satisfatório (1)	60 (5)	22 (5)
Painel de concreto celular autoclavado	Parcialmente satisfatório (2)	Satisfatório (2)	–	–	180 (6)	75 (8)
Painel de poliestireno expandido	Satisfatório (3)	Satisfatório (3)	Satisfatório (3)	Satisfatório (3)	60 (3)	120 (10)
Painel pré-moldado de concreto	Satisfatório (4)	Satisfatório (4)	–	–	–	250 (10)

(1) – IPT, 1997; (2) – IPT, 1984 b; (3) – IPT, 1992 b; (4) – Fundação Christiano Ottoni, 1999 b; (5) – Lafarge Gypsum, 1999 b; (6) – IPT, 1983 c; (7) – IPT, 1988 b; (8) – SICAL, 1999; (9) – Sousa, 1992; (10) - PRECON

tipologia da parede com espessura final de 113 mm, constituída por duas chapas de gesso de 12,5 mm de um lado e somente uma chapa de gesso do lado oposto. Isto se deve ao fato de que o critério para análise de segurança ao fogo descrito no item 8.4.2 adota a situação mais abrangente e mais crítica, ou seja, para paredes entre habitações geminadas. Como a tipologia adotada na tabela 9.1 só é recomendada para ambientes internos, optou-se pela nova tipologia acima descrita.

O ensaio de resistência ao fogo para painel de concreto celular autoclavado foi baseado naquele obtido para paredes constituídas por blocos de concreto celular autoclavado de 2800 mm de largura, 2800 mm de altura e 100 mm de espessura. Neste caso, como a espessura e a composição do material são os mesmos que o painel analisado, adotou-se o mesmo valor de resistência ao fogo. Para a resistência ao fogo de alvenaria comum, o valor constante na tabela foi para alvenaria de blocos cerâmicos, com furos assentados horizontalmente, de 90 mm de espessura. Este dado foi adotado por escassez de valores referentes a alvenaria especificada na tabela 9.1. Quanto ao painel pré-moldado de concreto não foram obtidos resultados em ensaios.

9.2 Características termo-acústicas e estanqueidade

Na tabela 9.2 constam os valores relativos aos critérios de análise de desempenho quanto à estanqueidade à água e o isolamento térmico (condutividade térmica e resistência térmica), ao conforto acústico (isolamento acústico e densidade), além de acrescentar a este grupo o custo por metro quadrado de cada um dos painéis analisados.

Em relação a alvenaria comum, não foi apresentado o dado relativo à estanqueidade em função da variedade de fabricantes, de materiais constituintes e de uma falta de padronização.

Para o ensaio de estanqueidade do painel de poliestireno é importante salientar que a condição de desempenho satisfatório é obtida desde que as paredes externas sejam pintadas com tinta à base de cal, ou outra tinta que apresente desempenho igual ou superior.

Tabela 9.2 – Dados referentes às características termo-acústicas e estanqueidade

	Condutividade de térmica (W/m.K)	Resistência térmica por unidade de área (m ² .K/W)	Densidade (kg/m ³)	Isolamento acústico (dB(A) ou CTSA)	Estanqueidade de	Custo * (R\$/m ²)
Alvenaria comum	Argamassa – 0,720 Tijolo – 0,729 (12)	0,21	Argamassa – 1.860 Tijolo – 1.920 (12)	45 (10)	-	37
Painel de gesso acartonado	Gesso – 0,170 Lã de vidro – 0,038 (12)	2,23	Gesso – 800 Lã de vidro – 28 (12)	45 (5)	Satisfatório (1)	25 a 35
Painel de concreto celular autoclavado	0,190 (13)	0,53	750 (9)	37 (9)	Satisfatório (15)	30
Painel de polistireno expandido	Argamassa – 0,720 EPS – 0,400 (12)	0,20	Argamassa – 1.860 EPS – 16 (12)	35 (3)	Satisfatório (3)	30
Painel pré-moldado de concreto	EPS – 0,400 Concreto – 1,400 (12)	0,16	EPS – 16 Concreto – 2.300 (12)	68 (14)	Satisfatório (16)	45

(1) Fonte - IPT, 1997; (2) Fonte – IPT, 1984 b; (3) Fonte – IPT, 1992 a, 1992 b; (4) Fonte – Fundação Christiano Ottoni, 1999; (5) Fonte – Lafarge Gypsum, 1999 a; (6) Fonte – Lafarge Gypsum, 1999 b; (7) Fonte – IPT, 1983 b; (8) Fonte – IPT, 1988; (9) Fonte – Sical, 1999; (10) Fonte – Sousa, 1992; (11) Fonte – Precon, 1999; (12) Fonte – Incropera & Dawitt, 1992; (13) Fonte – IPT, 1984 a,1995; (14) Fonte – Silva, 1997; (15) Fonte – IPT, 1983 a; (16) Fonte – Consultare, 1999; * Conversão Real/Dólar (US\$ 1.00 = R\$ 1,97 – out. 99)

Os custos de cada um dos tipos de painéis foram obtidos através de empresas que fabricam e comercializam tais materiais. Estão incluídos o custo do painel, da mão de obra de colocação e agrupamentos adicionais para a fixação dos mesmo. Estes dados são apenas de cunho ilustrativo e dão apenas uma ideia de ordem de grandeza. Isto se deve ao fato de que os custos oscilam muito devido a uma série de fatores, como demanda de mercado, variação de índices econômicos etc. Para o caso da alvenaria comum, o custo constante no periódico Informador das Construções do estado de Minas Gerais de Outubro de 1999 estão incluídos o material, a mão de obra, o chapisco e a argamassa. Caso fosse analisada alvenaria composta por tijolo furado, o custo do mesmo se reduziria para cerca de R\$ 20,00 (US\$ 10.15) por metro quadrado.

9.3 Análise comparativa dos painéis

Com base nos dados apresentados nas tabelas 9.1 e 9.2 para os quatro tipos de painéis avaliados, as seguintes considerações são feitas:

a) Os testes de impacto de corpo mole e de corpo duro foram satisfatórios para a maioria dos painéis, excetuando o teste de impacto de corpo mole para os painéis de concreto celular autoclavado, que apresentaram desempenho parcialmente satisfatório. No entanto, o comportamento nas juntas entre painéis e destes com a estrutura não foi satisfatório para impactos com energias mais baixas, apresentando trincas nestas regiões, (IPT, 1984 a; 1984 b).

b) A menor massa superficial encontrada é a dos painéis de gesso acartonado. Isto significa que esta característica reafirma a utilização deste tipo de painel como divisória interna de ambientes articuláveis, pois seu baixo peso permite mobilidade sem comprometer a estrutura. Em contrapartida, o painel pré-moldado de concreto possui a maior massa superficial entre os painéis, o que limita o seu uso em função necessidade de equipamento de içamento, tais como guindastes ou gruas nas obras onde for utilizado.

c) Outra característica a ser considerada é o procedimento de montagem e/ou construção dos painéis. Sob o ponto de vista da cultura construtiva nacional, em que a técnica de moldagem *in loco* e do uso da alvenaria tradicional é bastante difundida, o painel EPS é o que melhor se adequa a este aspecto. O sistema construtivo de painéis de EPS apresenta uma seqüência de montagem muito próxima dos passos de construção de uma parede de alvenaria tradicional, figuras 6.9 a 6.17, confirmando a afirmação acima citada.

d) Em relação aos ensaios de peças suspensas e interação entre paredes e portas, pode-se afirmar que todos os painéis apresentam comportamento satisfatório, uma vez que para os painéis de concreto celular autoclavado e pré-moldado de concreto não é significativo a consideração destes em função de sua elevada resistência aos esforços exigidos.

e) Quanto à resistência ao fogo, a falta de dados de ensaios referente ao painel pré-moldado de concreto não possibilitou uma análise conclusiva deste item. Pode-se observar que o painel de concreto celular autoclavado obteve o maior tempo de resistência em relação aos demais painéis (180 minutos), superando inclusive o valor obtido para alvenaria comum. Na tabela 9.1 a resistência ao fogo de paredes constituídas por placas de gesso acartonado é de 60 minutos. No entanto, dependendo da tipologia da parede e do uso de um tipo de painel especial (resistente ao fogo), o tempo de resistência pode chegar a 120 minutos.

f) De acordo com os valores da condutividade térmica e da resistência térmica, fatores que indicam a capacidade da troca de calor do elemento, observa-se que os painéis de gesso acartonado apresentam um melhor isolamento térmico. Isto se deve à existência de material isolante entre os painéis que aumenta a sua resistência térmica de acordo com a equação (8.3). Os demais apresentam desempenho térmico similar entre si. Do ponto de vista térmico, a escolha do painel mais adequado depende da edificação onde será utilizado.

g) Com relação à densidade, observa-se que os painéis de gesso acartonado e concreto celular autoclavado possuem maior leveza em relação aos demais e os painéis pré-moldados de concreto possuem o maior peso. Através destas constatações e levando-se em conta a lei da massa, citado no item 8.4.4, pode-se afirmar que tanto o painel de concreto celular autoclavado quanto o de gesso acartonado, por possuírem menor densidade, tem uma capacidade de isolamento sonoro menor, enquanto o painel pré-moldado de concreto, mais pesado, tem capacidade maior.

No entanto, pode-se observar que, embora o que afirma a lei de massa, o painel de gesso e a alvenaria comum tem a mesma capacidade de isolamento acústico, apesar da diferença de massa. Isto se deve ao efeito sanduiche, técnica comentada também no item 8.4.4, que consiste em combinar painéis leves preenchidos por materiais isolantes.

Já o painel pré-moldado de concreto reúne as vantagens obtidas tanto com a lei de massa quanto ao efeito sanduiche, pois possui maior densidade e é composta de duas camadas de concreto preenchidas com EPS. Isto lhe garante o maior isolamento acústico dentre os materiais analisados. Entretanto, por ter maior densidade, o painel praticamente limita seu uso junto a equipamentos de içamento, tais como guindastes ou guias.

A baixa densidade aliada ao bom isolamento acústico indicam o painel de gesso acartonado como adequado ao uso a que se propõe, ou seja, divisória interna de ambientes que permitem grande articulação de espaços sem sobrecarga à estrutura.

Os painéis de concreto celular autoclavado e o de poliestireno expandido atendem apenas ao critério de 30 dB de isolamento sonoro bruto para o conjunto fachada/cobertura. Desta forma, estes dois painéis, segundo tipologia específica proposta neste capítulo, não são recomendadas para divisórias entre edificações geminadas, em função do limite estabelecido de 45 dB. Para melhorar tal desempenho, é necessário adotar medidas tais como o aumento da espessura e/ou através do efeito sanduiche.

h) Para a estanqueidade, todos os painéis apresentaram condição satisfatória, levando-se em consideração as ressalvas descritas nos item 9.2.

i) À excessão dos painéis pré-fabricados de concreto, todos os outros painéis possuem um custo menor que a alvenaria comum composta por tijolo maciço, e cerca de 50% maior que a alvenaria composta por tijolo furado. No custo levantado para paredes compostas de alvenaria tradicional, não estão incluídos desperdícios em obra, retrabalho, tempo de execução, mão-de-obra desqualificada e despreparada, entre outros fatores que, somados, aumentariam ainda mais os custos desta tipo de parede.

10. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

10.1 Conclusões

O uso de painéis de vedação junto à estrutura metálica vem a ser não só uma opção construtiva direcionada a um mercado específico, e sim uma possibilidade de mudança na mentalidade construtiva do país. A construção civil no Brasil utiliza, cada vez mais, as vantagens de uma construção industrializada em relação às técnicas tradicionais. Estas vantagens são traduzidas pela racionalização do processo construtivo, eliminação do retrabalho, minimização de desperdício, entre outros.

Os painéis de vedação são importantes para as construções industrializadas e são a principal opção como elemento de vedação para a estrutura metálica. Desta forma, necessitam de uma análise mais detalhada quanto à exequibilidade e adaptabilidade junto à cultura construtiva e características climáticas brasileiras. A contextualização histórica analisa fatos que propiciaram ou influenciaram o início das construções metálicas no mundo e a conseqüente utilização de painéis industrializados. Esta mesma contextualização histórica levanta questões referentes ao atraso do uso destas técnicas construtivas no Brasil, avaliando as questões e motivos pelos quais novas técnicas construtivas chegaram no país somente na década de 1990. Através da contextualização histórica faz-se uma investigação dos prováveis motivos deste atraso tecnológico para melhor descrever a atual situação da construção industrializada e do uso de painéis de vedação. Ao se observar tal situação, têm-se a necessidade de proceder a uma descrição e análise mais aprofundada dos painéis existentes no mercado atual. Esta análise tem como objetivo avaliar se os painéis possuem características que permitam seu uso adequado dentro das características climáticas e de cultura construtiva do Brasil. Para tal, são selecionados quatro tipos de painéis existentes no mercado, caracterizando-os quanto às suas técnicas de montagem, ligação entre painéis e destes com a estrutura, padronizações, etc.

Após a caracterização dos painéis, faz-se uma avaliação comparativa dos mesmos utilizando como parâmetros de análise dados obtidos por resultados de relatórios de ensaios ou por bibliografia especializada. Através destes dados, pode-se concluir que:

- a) Os testes de impacto de corpo mole e de corpo duro foram satisfatórios para a maioria dos painéis, exceto o teste de impacto de corpo mole para os painéis de concreto celular autoclavado, que apresentaram desempenho parcialmente satisfatório.
- b) São satisfatórios os resultados dos testes de peças suspensas e interação entre paredes e portas para todos os painéis analisados.
- c) O painel de concreto celular autoclavado obteve o maior tempo de resistência ao fogo em relação aos demais.
- d) A menor massa superficial é a dos painéis de gesso acartonado, 22 kg/m^2 , enquanto os painéis pré-moldados de concreto possuem a maior massa superficial, ou seja, 250 kg/m^2 .
- e) O painel de gesso acartonado apresenta um melhor isolamento térmico devido aos menores valores de condutividade térmica e de maior valor com relação à resistência térmica.
- f) Os painéis de gesso acartonado e de concreto celular autoclavado possuem os menores valores para a densidade.
- g) O painel pré-moldado de concreto apresenta o melhor isolamento acústico.
- h) Todos os painéis apresentaram resultado satisfatório quanto à estanqueidade.
- i) Excetuando o painel pré-moldado de concreto, os demais possuem um custo entre R\$ 25,00 (US\$ 12.70) e R\$ 35,00 (US\$ 17.80) por metro quadrado.

Com base na análise dos dados constantes nas Tabelas I e II, pode-se concluir que não existe o melhor painel entre os tipos analisados, e sim o melhor painel para determinada situação ou necessidade de uso. Como exemplo, pode-se citar o painel de gesso acartonado, cujas suas características de baixa densidade, massa superficial reduzida, bom isolamento acústico e alta resistência térmica confirmam seu uso para divisórias de ambientes internos. Estas mesmas características permitem a articulação de espaços, sem comprometer a

privacidade entre os ambientes ou sobrecargas adicionais significativas para a estrutura existente.

Outro exemplo é o uso de painéis pré-moldados de concreto, onde sua utilização é viabilizada em obras de grande porte ou que necessitem de equipamentos de içamento. Seu peso elevado limita sua montagem em obras onde o uso de guias e guindastes seja necessário.

Um outro ponto importante a ser considerado é o procedimento de montagem e/ou construção dos painéis. Sob o ponto de vista da cultura construtiva nacional, em que a técnica de moldagem *in loco* e do uso da alvenaria tradicional é bastante difundida, o painel EPS é o que melhor se adequa sob este aspecto. Devido a sua alta capacidade de resistência ao fogo, os painéis de concreto celular autoclavado são os mais indicados para ambientes que exijam segurança em caso de incêndio, tais como escadas de edifícios de andares múltiplos.

10.2 Sugestões

A continuação de uma investigação quanto ao desempenho dos diversos painéis disponíveis no mercado é de grande importância para avaliar seu uso no mercado nacional. No entanto, uma avaliação mais completa exige também uma avaliação dos painéis em relação ao conjunto construído, ou seja, uma avaliação em que contemple aspectos de desempenho termo-acústico, estanqueidade e estrutural de uma edificação como um todo. Desta forma, deve-se levar em consideração não só o desempenho do material em si, mas os ambientes compostos pelos painéis e elementos de vedação, além da análise do conjunto dos ambientes que compõe determinada edificação.

Cabe ressaltar que outros painéis de vedação começam a ser empregados com mais frequência no mercado, citando como exemplo as placas cimentícias, além de outros que se

encontram em fase de lançamento no mercado (painéis de concreto reforçado com fibra de vidro). Desta forma, a complementação deste trabalho sempre será possível graças à dinâmica de mercado, permitindo ainda pesquisar novas técnicas para os painéis avaliados neste trabalho, seja através de novas espessuras, novos materiais isolantes, até mesmo novas formas de montagem, fixação, tipologias etc.

Ao se analisar o capítulo 2, que trata da contextualização histórica, observa-se que a história da construção civil passou por dois momentos ou etapas. Antes das modificações do século XIX, a construção civil se caracterizava por técnicas artesanais, apesar de diferenças regionais, culturais ou de materiais constituintes. Durante o século XIX e XX, por sua vez, observa-se uma gradual modificação para técnicas construtivas industrializadas, já analisadas no capítulo 2.

No entanto, observa-se que, no final do século XX, há uma tendência à busca das origens e das tradições construtivas características de cada região, adaptando-as à novas tecnologias obtidas durante os últimos dois séculos. Ou seja, a técnica do pau-a-pique, por exemplo, utilizada em diversas edificações construídas em Minas Gerais desde o Brasil colônia, pode ser utilizado para o desenvolvimento de uma nova técnica construtiva ou um novo tipo de painel, substituindo o barro pelo solo-cimento.

Sendo assim, outros trabalhos podem vir a pesquisar painéis dentro desta nova tendência mundial, possibilitando que o Brasil, ao contrário de tempos anteriores, desenvolva materiais de ponta e em consonância com suas tradições construtivas e materiais adequados ao clima e cultura construtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akutsu, M. (1998). Método para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificação no Brasil. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, 156 p., São Paulo.

Abrapex (1999) – Associação Brasileira dos Produtores de Poliestireno, São Paulo (Catálogo de Produtos).

Barros, M. M. B. e Sabbatini, F. H. (1996). Diretrizes para o Processo de Projeto para a Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios. EPUSP, 24 p., São Paulo (Boletim Técnico).

Barros, M. M. B. e Sabbatini, F. H. (1998). Metodologia para Implantação de Tecnologia Construtivas Racionalizadas no Processo de Produção de Edifícios. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Qualidade no Processo Construtivo, p. 569 – 576, Florianópolis.

Braga, M.A. (1998a). A Importância da Adequação de Sistemas Construtivos a Contextos Específicos: Método de Avaliação de Projetos. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Qualidade no Processo Construtivo, v. 2, p., 717 – 726, Florianópolis.

Braga, M. A. (1998b). Abordagem Sistêmicas e a Avaliação de Sistemas Construtivos. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído _ Qualidade no Processo Construtivo, v. 2, p. 727 – 735, Florianópolis.

Campos, P. E. F. e Hanai, J. B. (1991). Industrialização da Construção e Argamassa Armada: Perspectivas de Desenvolvimento. EPUSP, 13 p., São Paulo (Boletim Técnico).

Clarke, J. et al., (1993). ESP-r a Program for Building Energy Simulation, Version 9 Series, ESRV Manual U99/1, Glasgow, Scotland.

Consultare (1999). Avaliação de Painéis Pré – moldados de Concreto – Relatório 1718 R/99, Belo Horizonte.

Costa, E.C. (1982). Arquitetura Ecológica: Condicionamento Térmico Natural. Edgard Blücher, São Paulo.

Costa, M. R. M. M. (1995). Método Construtivo de Alvenaria de Vedação de Blocos de Concreto Celular Autoclavado. Escola Politécnica da USP, 234p, São Paulo (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Construção Civil).

Dias, L.A.M. (1993). Edificação de Aço no Brasil. Zigurate Editora, 204 p, São Paulo.

Dias, L.A.M. (1997). Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem. Zigurate Editora, 159 p, São Paulo.

Fanger, P. D. (1972). Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill Book Company, 244 p., New York.

Ferreira, A. C. A. e Assis, J. B. S. (1997). Qualidade e Produtividade na Construção Civil do Brasil. I PUC – MG, p. 36 – 47, Belo Horizonte (Boletim Técnico).

Ferreira, O. L. (1998) . O Uso Adequado do Aço e sua Contribuição na Racionalização da Construção. VII Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído – Qualidade no Processo Construtivo, p. 295 – 302, Florianópolis.

Fundação Cristiano Ottoni (1999). Resumo da Análise dos Resultados e Conclusões Preliminares dos Ensaios Realizados no Protótipo de Dois Pavimentos, Belo Horizonte (Relatório Técnico).

Gerges, S. N. Y. (1992). Ruído: Fundamentos e Controle, Editora da UFSC, 600 p, Florianópolis.

Guerrano, R. H. (1995). Espaços Privados – In VVAA. História da Vida Privada 4 - Da Revolução Francesa à Primeira Guerra; organizado por Michelle Perrot, Companhia das Letras, p. 325 – 412, São Paulo.

Hobsbawn, E. J. (1981). A Era das Revoluções – Europa 1789 – 1848, Paz e Terra, 3.^a ed., 366 p., Rio de Janeiro.

Hobsbawn, E. J. (1995). Era dos Extremos – O Breve Século XX: 1914 – 1991. Companhia das Letras, 598 p., São Paulo.

Incropera, F. P. e Dewitt, D. P. (1992). Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. Guanabara Koogan, trad. Horácio Macedo, 3.^a ed., 455 p., Rio de Janeiro.

IPT (1983a) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Determinação da Estanqueidade à Água de Paredes Externas – Certificado 680.154.

IPT (1983b) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Ensaio de Incombustibilidade – Relatório 18.684.

IPT (1983c) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Resistências ao Fogo em Parede sem Função Estrutural – Relatório 18.724.

IPT (1984a) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Determinação de Condutividade Térmica – Certificado 689.742.

IPT (1984b) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Verificação de Comportamento de Divisórias Internas, Constituídas por Painéis de Concreto Celular, sob Ação de Impactos de Corpo Duro e Corpo Mole . Relatório 20.138.

IPT (1988) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha, Pini, p. 215 – 224, São Paulo.

IPT (1992a) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Determinação da Estanqueidade à Água de Paredes Externas – Certificado 801.494.

IPT (1992b) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Avaliação de Desempenho de Sistema Construtivo Integrado por Painéis Sanduíche, com Miolo em Poliestireno Expandido e Faces em Argamassa Armada – Relatório Técnico 30.751.

IPT (1995) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Determinação de Condutividade Térmica – Relatório de Ensaio 826.971.

IPT (1997) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Referência Técnica 005 – Sistemas Lafarge Gypsum de Paredes Pré-fabricadas em Chapas de Gesso.

IPT (1998) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social, Divisão de Engenharia Civil, 84 p.

Isoeste (1999). Painéis Isotérmicos Isojoint, Anápolis (Catálogo de Produtos).

Kiss, P. (2000). Tem que Casar. Técnica 44, Pini, p. 20 – 23, São Paulo.

Knauf (1999a). Sistema de Chapas Cimentícias, Queimados (Catálogo de Produtos).

Knauf (1999b). Tabiques Knauf com Estrutura Metálica (Catálogo de Produtos).

Lafarge Gypsum (1999a). Catálogos Sistemas Lafarge Gypsum, São Paulo.

Lafarge Gypsum (1999b). Catálogo Sistema Lafarge Gypsum para Paredes de Divisão entre Unidade e Circulação – Código D 113 /75, São Paulo.

Lopes, N. J. (1989). Aspectos Técnicos – Painéis de Concreto Pré - fabricados e suas vantagens. Cópia do original datilografado de consultoria (gentileza do autor), Belo Horizonte.

Mammini, O. (1998). O Processo Monolite de Construção com Painéis de EPS. *Téchne* 37, Pini, p. 53 – 55, São Paulo.

MB 3256 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Divisórias Leves Internas Moduladas – Verificação da Resistência a Impactos – Método de Ensaio.

Mitidieri Filho, C. V. e Guelpa, D. F. V. (1992). Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Inovadores Destinados a Habitações Térreas Unifamiliares – Desempenho Estrutural. EPUSP, 11 p., São Paulo (Boletim Técnico).

Mitidieri Filho, C.V. (1997). Paredes em chapas de Gesso Acartonados. *Téchne* 30, Pini, p. 65 – 70, São Paulo.

Monetti, E. e Pecoraro, G.C.C. (1993). Análise Econômica de Sistemas Construtivos: Um Estudo de Caso, Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído, v 1, p. 359 – 367, São Paulo.

NBR 11752 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Materiais Celulares de Poliestireno para Isolamento Térmico na Construção Civil e Câmaras Frigoríficas.

NBR 13438 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Blocos de Concreto Celular Autoclavado.

Neves, C.M.M. (1993). Inovações Tecnológicas em Construção com Terra e Solo-cimento. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 1, p. 221 – 230, São Paulo.

Neves, C. M. M. (1998). O Uso do Papel Jornal na Argamassa para Fabricação de Componentes Habitacionais. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Qualidade no Processo Construtivo, p. 63 – 71, Florianópolis.

Oliveira, C. T. A. e Agopyan, V. (1996). Desenvolvimento de um Painel de Gesso Reforçado com Fibra de Vidro com Vedação Vertical Interna. EPUSP, 18 p., São Paulo (Boletim Técnico).

Oliveira, F.L. e Machado Júnior, E. F. (1998). Avaliação da Segurança Estrutural de Sistemas Inovadores: Estudo de Caso. Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 23 p., São Carlos (Boletim Técnico).

Perlite (1999). Perlcon. Board, Dortmund (Catálogo de Produtos).

Pinto, M. A. V. (2000). Avaliação Térmica de Edifícios em Estrutura Metálica. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, Ouro Preto.

Precon (1999). Painéis Precon, Belo Horizonte (Catálogo de Produtos).

Premo (1999). Painéis Estruturados Protendidos Premo – Struder, Belo Horizonte (Catálogo de Produtos).

PCI (1973) - Prestressed Concrete Institute, Chicago. Achitectural Precast Concrete, 172 p. (Manual Técnico).

Ramos, F. (1997). Panéis de Vedação e de Revestimento em Aço Inoxidável. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da UFOP, 164 p., Ouro Preto.

Sical (1999). Sistema Construtivo Sical em Blocos de Concreto Celular Autoclavado, Belo Horizonte (Catálogo de Produtos).

Silva, G.G. (1986). *Arquitetura do Ferro no Brasil*. Nobel, 248 p., São Paulo.

Silva, P. (1997) *Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar*. EDTAL- Editora Termo Acústica, 3ª ed., 271 p., Belo Horizonte.

Silva, V. G. e John, V. M. (1998). *Painéis em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro (GRC)*. EPUSP, 20 p., São Paulo (Boletim Técnico).

Siporex (1999). *Painéis Divisórios, Ribeirão Pires (Catálogo de Produtos)*.

Sousa, M. (1992). *A Magia da Expansão*. *Téchne* 1, Pini, p. 14 – 16, São Paulo.

Sousa, M. (1995). *O Argumento da Leveza*. *Téchne* 19, Pini, p. 24 – 27, São Paulo.

SCI (1992) - The Steel Construction Institute. *Connections Between Steel and Other Materials*, 72 p., Berkshire.

Stevenson, N. (1998). *Para Entender a Arquitetura*. *Ática*, 112 p., São Paulo.

Superboard (2000). *Chapa Lisa em Amianto para Revestimento Externo*, São Paulo (Catálogo de Produtos).

UFOP (1984) - Universidade Federal de Ouro Preto. *Solo-Cimento. Equipe de Pesquisa e Projetos Cíveis do Escritório Piloto dos estudantes da UFOP*, p. 1 – 19 (Relatório Técnico).