



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Renato Hercílio Bertoldi

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA CONSTRUTIVO COM
VEDAÇÕES CONSTITUÍDAS POR ARGAMASSA PROJETADA
REVESTINDO NÚCLEO COMPOSTO DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO E TELAS DE AÇO: DOIS ESTUDOS DE CASO EM
FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis
2007

Renato Hercílio Bertoldi

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA CONSTRUTIVO COM
VEDAÇÕES CONSTITUÍDAS POR ARGAMASSA PROJETADA
REVESTINDO NÚCLEO COMPOSTO DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO E TELAS DE AÇO: DOIS ESTUDOS DE CASO EM
FLORIANÓPOLIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração:
Construção Civil

Orientador:
Prof. Dr. Fernando Barth

Florianópolis
2007

Aos meus pais Hercílio e Cacilda “in memóiriam”,
a minha esposa Vera e filhos Rodrigo e Laura

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades obtidas de conquistas e aprendizagens, com serenidade e plenitude;

Ao Sr. Oswaldo Kiesewetter, pelo apoio e incentivo que me deu, desde o início, quando tive contato com o sistema construtivo, fornecendo informações técnicas e prontificando-se a passar um pouco do seu conhecimento.

Ao professor Fernando Barth, pelo apoio, orientações e incentivos que me foram dados ao longo deste período de aprendizado e também, por ter acreditado na minha capacidade de desenvolver este trabalho.

Aos Professores Wilson Silveira e Saulo Güths, por suas observações, que contribuíram para melhoria deste trabalho.

Ao professor Narbal Marcelino por sua disponibilidade em me auxiliar, com suas observações, orientações e execução dos ensaios.

Ao professor Hélio Greven, por sua disponibilidade e participação, pelas observações e orientações.

A Marinéia Vieira, chefe de expediente do PPGEC, pela atenção, ajuda e presteza.

Aos colegas de mestrado, pelo constante incentivo e pela disponibilidade em ajudar-me, pelas orientações prestadas que foram de fundamental importância, na elaboração deste trabalho.

RESUMO

O sistema construtivo com painéis industrializados, tipo sanduíche, com núcleo de poliestireno expandido e telas eletro soldadas teve sua origem na Europa, na década de oitenta. É um sistema construtivo monolítico desenvolvido para atender as exigências climáticas e estruturais: possui elevado desempenho térmico sendo, também, resistente a abalos sísmicos.

Este trabalho busca caracterizar o processo de aplicação do sistema construtivo em dois estudos de caso, executados em Florianópolis, na região sul do Brasil. Nas duas obras, o sistema foi aplicado de forma bastante distinta, numa com função única de vedação; na outra, também, com função estrutural. Os estudos de caso, foram caracterizados por seus aspectos compositivos, construtivos e por requisitos e critérios de desempenho térmico e verificação do comportamento estrutural. Análises comparativas foram realizadas entre os estudos de caso, segundo os padrões normativos, de modo a estabelecer correlação entre as variantes deste sistema construtivo. Através das mesmas e dos resultados obtidos, pode-se observar uma evolução tecnológica dos processos de fabricação dos painéis dos estudos de caso. Verifica-se, também, que as obras executadas com esta tecnologia podem aumentar a qualidade dos ambientes construídos, além de incrementar índices de industrialização da construção. Este sistema construtivo apresenta grande incidência de materiais como aço e o poliestireno expandido, o que eleva os custos de produção no país. No entanto, suas características construtivas possibilitam, rapidez de execução, flexibilidade de aplicação, racionalização do processo construtivo e redução dos desperdícios na obra.

Palavras-chave: Sistema construtivo; *Monolite*; painéis industrializados; poliestireno expandido, telas eletro soldadas.

ABSTRACT

The constructive system based on industrialized sandwich-type panels of expanded polystyrene and steel welded tie was originated in Europe at the decade of the 1980s. It is a monolithic constructive system with anti-seismic, thermal and acoustic insulation characteristics, developed to meet high structural and climate requirements. The present work aims to characterize the application process of this system in two different construction sites in the city of Florianópolis, south of Brazil. In the first case, only thermal insulation were required; in the second case, it was also required structural function. The constructive system of each case was characterized by its constitutive aspect and application process and by thermal and structural performance requirements. Comparative analysis was performed according to normative patterns in order to establish correlation between variants of each case. The results revealed some technological evolution of the manufacturing process of the panels. It was also verified that the technology involved in these types improves quality of the built environments and increases industrialization levels. This constructive system presents a large incidence of materials, such as steel and expanded polystyrene. Although, it allows quick assemble, high flexibility in the application, increasing rationalization in the constructive process and relevant reduction of waste of materials in the construction sites.

Keywords: Constructive System; Monolite; Industrialized Panels; Expanded Polystyrene, Steel Welded Tie.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO.....	V
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE TABELAS	XVI
1.INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2. OBJETIVOS:	3
1.2.1 Geral	3
1.2.2 Específicos.....	3
1.3 MÉTODO.....	4
1.4 REQUISITOS DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO	4
1.5 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO TRABALHO	5
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1 CARACTERÍSTICAS COMPOSITIVAS DAS VEDAÇÕES	6
2.2 VEDAÇÕES COM ELEMENTOS CERÂMICOS	7
2.3 ELEMENTOS DE VEDAÇÃO COM PAINÉIS TIPO SANDUICHE	8
2.4 SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	8
2.4.1 Características gerais do sistema construtivo	13
2.4.2 Composição do painel.....	14
2.4.3 Poliestireno Expandido.....	15
2.4.3.1 Processo de fabricação.....	15
2.4.4 Tela Soldada	19
2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS	20
2.6 BREVE HISTÓRICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	22

2.7 PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	23
3. SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS DE POLIESTIRENO E TELAS SOLDADAS	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS TIPO SANDUICHE COM NÚCLEO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E TELAS DE AÇO ELETRO SOLDADAS	25
3.2 PROCESSO CONSTRUTIVO	26
3.2.1 Componentes do sistema.....	27
3.2.2 Tipos de painéis	29
3.3 DIRETRIZES BÁSICAS PARA PROJETO	32
3.3.1 Modulação e coordenação dimensional	32
3.4 PROCESSO DE MONTAGEM DOS PAINÉIS DE POLIESTIRENO	34
3.4.1 Colocação das armaduras de reforços.....	35
3.4.2 Colocação das instalações elétricas e hidro-sanitárias	36
3.4.3 Projeção e concretagem dos painéis	37
3.4.3.1 Dosagem do revestimento estrutural.....	38
3.5 DETALHES CONSTRUTIVOS	40
4. ANÁLISE DO DESEMPENHO HIGRO-TÉRMICO E ESTRUTURAL	45
4.1 DESEMPENHO TÉRMICO	46
4.1.1 Conforto térmico.....	47
4.1.2 Variações dimensionais dos elementos de vedação.....	51
4.1.3 Análise do desempenho térmico das vedações	52
4.1.4. Análise do desempenho térmico das vedações nos estudos de caso .	56
4.1.4.1. Estudo de caso 1:.....	56
4.1.4.2. Estudo de caso 2:.....	59
4.2 CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA GLOBAL.....	62
4.2.1 Estudo de caso 1	64
4.2.2 Estudo de caso 2	65
4.3 EFEITOS DA UMIDADE NAS VEDAÇÕES ARGAMASSADAS	66
4.3.1 Variações dimensionais dos elementos por variação de umidade	68
4.3.2. Desempenho Hígro-térmico - Riscos de condensações.....	69
4.3.2.1. Cálculo dos riscos de condensações dos estudos de caso 1	72
4.3.2.2. Cálculo dos riscos de condensações dos estudos de caso 2	75
4.4 DESEMPENHO ESTRUTURAL - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAINÉIS ARGAMASSADOS COM NÚCLEO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	77
4.4.1 Caracterização dos painéis analisados.....	78
4.4.2 Ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro	80
4.4.2.1 Requisitos para ensaios de corpo mole e corpo duro	80
4.4.2.2 Critérios e níveis de desempenho para impactos de corpo mole	80
4.4.2.3 Método de avaliação utilizado	81

4.4.2.4 Critérios e níveis de desempenho quanto à resistência de impactos de corpo duro	81
4.4.2.5 Descrição dos ensaios de impacto	82
4.4.2.5.1 Ensaio de impacto com corpo mole	82
4.4.2.5.2 Ensaio de impacto com corpo duro	83
4.4.3. Resultados dos ensaios de corpo mole	83
4.4.3.1. Paredes externas:	83
4.4.3.2. Paredes internas:	84
4.4.4. Resultados dos ensaios de corpo duro	86
4.4.4.1. Paredes externas:	86
5. ANÁLISES DOS ESTUDOS DE CASO	88
5.1 RESIDÊNCIA JURERÊ INTERNACIONAL	88
5.1.1 Fechamento do terreno execução dos muros	94
5.1.2 Execução do pavimento térreo	95
5.1.3 Execução das instalações elétricas e hidráulicas	96
5.1.4 Execução do pavimento superior	97
5.1.5 Execução da cobertura	98
5.1.6 Execução dos revestimentos argamassados	99
5.1.7 Finalização da obra	99
5.1.9 Características dos painéis adotados na obra	100
5.1.10 Detalhamento de fixação e ancoragem	100
5.1.11 Transpasse de telas	101
5.1.12 Características da montagem dos painéis	102
5.2 RESIDÊNCIA PANTANAL	103
5.2.1 Fundações	108
5.2.2 Paredes	108
5.2.3 Instalações	110
5.2.4 Revestimentos dos painéis	111
5.2.5 Execução da cobertura - madeiramento	114
5.2.6 Revestimento final dos painéis	115
6. RESULTADOS	116
6.1 QUANTO AO DESEMPENHO HIGRO-TÉRMICO	116
6.2 QUANTO AO DESEMPENHO ESTRUTURAL	118
6.3 QUANTO AOS ASPECTOS DE PRODUÇÃO	118
6.4 QUANTO A CONSTRUTIVIDADE DO SISTEMA CONSTRUTIVO	119
7. REFERÊNCIAS	121
8. ANEXOS	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Painéis do sistema construtivo com núcleo de poliestireno e tela de aço eletro soldada.....	10
Figura 2.2 – Aplicação do sistema construtivo	11
Figura 2.3 – Painel Duplo.....	13
Figura 2.4 – Painel Escada	13
Figura 2.5 – Pré-expansor.....	16
Figura 2.6 – Perola de poliestireno – EPS (expansão)	16
Figura 2.7 - Bloqueira.....	17
Figura 2.8 -Pantógrafo.....	17
Figura 2.14 – Bloco de Poliestireno moldado	20
Figura 2.15 – Recorte do bloco de poliestireno.....	20
Figura 2.16 – Malha padrão.....	21
Figura 2.17 – Malha especial.....	21
Figura 2.18 – Produção de telas.....	21
Figura 2.19 – Telas eletro soldadas	21
Figura 2.20 – Produção do painel simples.....	22
Figura 2.21 – Produção do painel duplo.....	22
Figura 2.22 – Equipamento para recorte de painéis	22
Figura 2.23 – Obra com painéis - Base / Antártida	23
Figura 2.24 – Obra com painéis - Venezuela	23
Figura 2.25 - Obra com painéis - Buenos Aires	24
Figura 2.26 - Painéis de vedação- Puerto Madero.....	24
Figura 2.27 – Obra com painéis - Puerto Madero	24

Figura 2.28 – Obra em painéis - Omán	24
Figura 3.1 - Detalhe do Painel de poliestireno, armadura e revestimento.....	25
Figura 3.2 - Grampeadeira Pneumática	29
Figura 3.3 – Soprador Térmico.....	29
Figura 3.4 – Rebocadoras pneumáticas	29
Figura 3.5 – Painel Simples.....	30
Figura 3.6 – Painel vedação portante.....	30
Figura 3.7 – Painel Duplo.....	30
Figura 3.8 – Painel Piso com armadura adicional-unidirecional.....	31
Figura 3.9 – Painel Piso com armadura adicional-bidirecional.....	31
Figura 3.10 – Painel Escada com armadura adicional.....	31
Figura 3.11 – Painel especial com material isolante adicional.....	31
Figura 3.12 – Painel especial com malha dupla	31
Figura 3.13 - Montagem de painéis	34
Figura 3.14 - Montagem em vão de porta	34
Figura 3.15 – Montagem Painel Parede Duplo.....	34
Figura 3.16 – Montagem Painel Escada	34
Figura 3.17 – Montagem Painel Laje	34
Figura 3.18 - Montagem.....	35
Figura 3.19 - detalhes alinhamento e prumo	35
Figura 3.20 – Detalhe de fixação da régua	35
Figura 3.21 - Colocação da telas de reforço.	35
Figura 3.22 - Telas de reforço angular	35
Figura 3.23 – Traspasse de telas.....	35
Figura 3.24 - Telas planas de reforço	35
Figura 3.25 - Montagem de lajes e coberturas.....	36
Figura 3.26 – Execução de sulcos para instalações nos painéis	37

Figura 3.27 – Execução de instalações elétricas nos painéis.....	37
Figura 3.28 – Execução de instalações hidráulicas nos painéis	37
Figura 3.29a – Colocação da caixa de passagem no painel.....	37
Figura 3.29b - Posicionamento de caixas de passagem em lados opostos do painel	37
Figura 3.30 – Concretagem em painéis duplos	38
Figura 3.31 – Projeção de argamassa em painel.....	38
Figura 3.32 – Concretagem da laje de cobertura	38
Figura 3.33 – Projeção de argamassa em parede.....	38
Figura 3.34 – Projeção da argamassa em teto	38
Figura 3.35 - Detalhe de ancoragem do painel a fundação – parede interna.....	40
Figura 3.36 – Detalhe de ancoragem do painel a fundação – parede externa	41
Figura 3.37 - Detalhe encontro painel parede e painel laje	41
Figura 3.38 – Encontro de painel parede com painel laje – laje plana	42
Figura 3.39 - Detalhe encontro painel parede e painel laje - cobertura inclinada	42
Figura 3.40 - Encontro de painéis paredes	43
Figura3.41 - Encontro de painéis parede de canto	43
Figura 3.42 - Encontro de painéis parede em forma de “T”	43
Figura 3.43 - Encontro do painel parede e esquadria	43
Figura 3.44 – Encontro do painel parede e esquadria – detalhe inferior.....	43
Figura 3.45 - União de painel parede e esquadria – detalhe superior.....	43
Figura 3.46 - União de painel parede e esquadria	44
Figura 3.47 - União de painel parede com pilar	44
Figura 3.48 - União de painel parede com viga do pavimento superior – vista em corte	44
Figura 3.49 - União de parede de painéis com laje, pilares e viga – vista frontal.....	44
Figura 4.1 – Perdas de desempenho na vida útil da edificação	46
Figura 4.2 – Parede analisada do estudo de caso 1.....	56
Figura 4.3 – Parede analisada do estudo de caso 2.....	59

Figura 4.4 - Efeito de adsorção, difusão e condensação do vapor de água em função da umidade nos poros abertos. (Quenard e Sallee, 1992).	67
Figura 4.5 – Ábaco psicrométrico mostrando as temperaturas do ar e de condensação dos estudos de caso (ANALYSIS BIO)	73
Figura 4.6 – Seção da vedação com painel de poliestireno argamassado do Estudo de Caso 1, ilustrando a diminuição das temperaturas do ar.	74
Figura 4.7 – Seção da vedação com painel de poliestireno argamassado do Estudo de Caso 2, ilustrando a diminuição das temperaturas do ar.	77
Figura 4.8 – Painéis a serem ensaiados sem revestimento	79
Figura 4.9 – Execução revestimento dos painéis a serem ensaiados - 1ª. demão de argamassa.	80
Figura 4.10 – Execução revestimento dos painéis a serem ensaiados - 2ª. demão de argamassa.	80
Figura 4.11 – Arranjo de ensaio para impactos de corpo mole.	82
Figura 4.12 – Impacto de corpo mole painel 1 ensaiado com massa 40 kg.	82
Figura 4.13 – Arranjo de ensaio para impactos de corpo duro.	83
Figura 4.14 – Impacto de corpo duro, massa de 1 kg.	83
Figura 4.15 – Painel 1 ensaiado.	87
Figura 4.16 – Painel 2 ensaiado.	87
Figura 4.17 – Painel 3 ensaiado.	87
Figura 5.1 – Estudo de caso 1 - Vista obra concluída	88
Figura 5.2 – Projeto Estudo de Caso 1 - Fachadas Norte	89
Figura 5.3 – Projeto Estudo de Caso 1 - Fachada Oeste.	89
Figura 5.4 – Projeto Estudo de Caso 1 - Planta Baixa Pavimento Térreo	90
Figura 5.5 – Projeto Estudo de Caso 1 - Planta Baixa Pavimento Superior.	91
Figura 5.6 – Projeto Estudo de Caso 1 - Corte A-A	92
Figura 5.7 – Projeto Estudo de Caso 1 - Corte B-B.	92
Figura 5.8 – Fachada com painéis revestidos com argamassa projetada.	93
Figura 5.9 – Montagem - painéis muro	94
Figura 5.10 – Projeção 1ª. Demão de Argamassa.	94

Figura 5.11 – Montagem - Pavto. Térreo	96
Figura 5.12 – Início das montagens Pavto. Térreo	96
Figura 5.15 – Instalações elétricas.....	97
Figura 5.16 – Início da montagem segundo pavto.....	97
Figura 5.17 – Colocação das armaduras de reforço.....	97
Figura 5.18 – Continuação da montagem e travamento	97
Figura 5.19 – Painéis de fechamento da cobertura.....	98
Figura 5.20 –Detalhe - viga de fechamento superior do painel.....	98
Figura 5.21 – Argamassamento externo	98
Figura 5.22 – Construção do madeiramento do telhado.....	98
Figura 5.23 – Obra concluída - Fachada Sul	99
Figura 5.24 – Obra concluída - Fachada Leste.....	99
Figura 5.25 – Painéis de EPS com núcleo de 10 cm	101
Figura 5.26 – Espera de ancoragem painéis	101
Figura 5.27 – Transpasse de talas dos painéis.....	102
Figura 5.28 – Telas dos painéis incorporados as vigas.....	102
Figura 5.29 – Estudo de Caso 2 - Vista obra concluída	103
Figura 5.30 – Projeto Estudo de Caso 2 - Fachada Sul	104
Figura 5.31 – Projeto Estudo de Caso 2 - Planta Baixa Pavimento Térreo.....	105
Figura 5.32 – Projeto Estudo de Caso 2 - Planta Baixa Pavimento Superior.....	105
Figura 5.33 – Projeto Estudo de Caso 2 - Corte 01	106
Figura 5.34 – Projeto Estudo de Caso 2 - Corte 02	106
Figura 5.35 – Fachada com revestimento pavimento térreo com argamassa projetada – 1ª. demão e painéis montados pavimento superior.....	107
Figura 5.36 – Baldrame e aterro	108
Figura 5.37 – Contra piso, ferragem de ancoragem e painéis estocados para montagem das paredes.....	108
Figura 5.38 – Início da montagem no encontro de paredes, canto da sala.	109

Figura 5.39 – Montagem painéis e transpasse de telas e ancoragem com o piso	109
Figura 5.40 – Alinhamento e travamento painéis.....	110
Figura 5.41 – Montagem pavimento térreo	110
Figura 5.42 – Execução de sulcos nos painéis para receber as instalações.....	110
Figura 5.43 – Execução de sulcos nos painéis para receber as instalações.....	110
Figura 5.44 – Operário recolhendo argamassa com a caneca de projeção pneumática.....	112
Figura 5.45 – Projeção de argamassa no painel com caneca de projeção pneumática.....	112
Figura 5.46 – Produção da argamassa	113
Figura 5.47 – Argamassamento dos painéis/térreo.....	113
Figura 5.48 – Laje de piso (pré-moldada com eps)	113
Figura 5.49 – Montagem pavimento superior	113
Figura 8.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro - NBR 15220	125
Figura 8.2 – Mapa do zoneamento climático espanhol por temperaturas médias mínimas / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica global da vedação.....	126
Figura 8.3 – Mapa do zoneamento climático espanhol por graus por dia / NBE-CT-79...	126
Figura 8.4 – Ábaco psicrométrico para a determinação das temperaturas de condensação e do conteúdo de umidade contido no ar.....	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Comparações das espessuras das com alvenaria de bloco cerâmico para uma mesma transmitância térmica. (Monoplac)	32
Tabela 4.1 – Transmitâncias térmicas máximas admissíveis das vedações - NBR 15220... 48	48
Tabela 4.2 – Valores máximos de transmitância térmica admissíveis para as vedações, em (W/m ² K).....	49
Tabela 4.3 – Comparação entre as transmitâncias térmicas das normas	50
Tabela 4.4 – Valores mínimos de capacidade térmica para vedações.....	54
Tabela 4.5 – Valores limites máximos de UGM, em (W/m ² K).....	63
Tabela 4.6 – Coeficiente a em (W/m ² K) de acordo com zona climática e tipo de energia ..	64
Tabela 4.7 – Somatório das áreas da residência do estudo de caso1.....	64
Tabela 4.8 – Justificativa de cálculo da transmitância global UG da residência do estudo de caso1.	65
Tabela 4.9 – Somatório das áreas da residência do estudo de caso2.....	66
Tabela 4.10 – Justificativa de cálculo da transmitância global UG da residência do estudo de caso2.....	66
Tabela 4.11 – Temperatura do ambiente interior.	69
Tabela 4.12 – Diferença de temperatura das camadas da vedação (°C).....	72
Tabela 4.13 – Resistência à passagem ao vapor de água da vedação, em MNs/g.....	72
Tabela 4.14 – Permeabilidade ao vapor de água da vedação, em g/kg	74
Tabela 4.15 – Diferença de temperatura das camadas da vedação (°C).....	75
Tabela 4.16 – Resistência à passagem ao vapor de água da vedação, em MNs/g.....	76
Tabela 4.17 – Permeabilidade ao vapor de água da vedação, em g/kg	77
Tabela 4.18 – Painéis prontos a serem ensaiados.....	78
Tabela 4.19 – Massa de corpo mole impactador, altura e energia de impacto.....	81

Tabela 4.20 – Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto.....	82
Tabela 4.21 – Ensaio de corpo mole para paredes externas - painel 1	84
Tabela 4.22 – Ensaio de corpo mole para paredes externas - painel 2	84
Tabela 4.23 – Ensaio de corpo mole para paredes externas - painel 3	84
Tabela 4.24 – Ensaio de corpo mole para paredes internas - painel 1	85
Tabela 4.25 – Ensaio de corpo mole para paredes internas - painel 2	85
Tabela 4.26 – Ensaio de corpo mole para paredes internas - painel 3	85
Tabela 4.27 – Ensaio de corpo duro para paredes externas - painel 1	86
Tabela 4.28 – Ensaio de corpo duro para paredes externas - painel 2	86
Tabela 4.29 – Ensaio de corpo duro para paredes externas - painel 3	86
Tabela 8.1 – Valores de condutividade térmica obtida através da NBR 15220 e valores de resistividade ao vapor de água, obtidos através da NBE-CT-79	127

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo a caracterização do uso do sistema construtivo formado por vedações constituídas pela projeção de argamassa sobre painéis de poliestireno reforçado com telas de aço eletro soldadas. Serão apresentados dois estudos de caso, de obras residenciais de dois pavimentos situados em Florianópolis / SC, nas localidades de:

- Jurerê Internacional, na praia de Jurerê;
- Pantanal.

O sistema construtivo foi desenvolvido inicialmente na Itália, para atender exigências estruturais e climáticas bastante severas. No Brasil, apesar de não existir condições tão desfavoráveis, o sistema se adaptou de forma satisfatória com a utilização em formas arquitetônicas variadas. O sistema chega ao Brasil, por volta do ano 1990, quando foi submetido a análises do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) que apresentou resultados favoráveis, porém esta tecnologia, até o presente momento, vem sendo pouco utilizada no Brasil.

1.1 JUSTIFICATIVA

O referido sistema construtivo, apesar de ser moldado “in loco”, apresenta elevado índice de industrialização, pois, utiliza componentes industrializados que possibilitam aumentar a qualidade e produtividade dos elementos construtivos, com redução dos prazos de execução. A indústria da construção de edifícios, no Brasil, está baseada em sistemas construtivos convencionais, valendo-se de processos e métodos que vem utilizando mão de obra intensiva no canteiro. Isto não significa que os processos sejam obsoletos, ou possuem técnicas inadequadas, mas, na maioria dos casos, observa-se que o desperdício de materiais, ainda atinge índices preocupantes, como, por

exemplo, o pequeno reaproveitamento e grande desperdício no uso da madeira na execução de fôrmas e cimbramentos.

No Brasil, a Indústria da construção, tem apresentado evolução em setores específicos, como é o caso do concreto armado, dos pré-fabricados e, na última década, o uso do “drywall”. Estas aplicações ainda são restritas praticamente, aos edifícios industriais, comerciais e institucionais, pois, o seu custo inicial se justifica pela redução dos prazos de execução das obras.

Pode-se observar, entretanto, que alguns aspectos da construção de edifícios, no Brasil, dificultam a inserção de inovações tecnológicas. Rezende e Abiko (2004), citam que o setor da construção esta subdividido em três subsetores: construção pesada, industrial e de edificações, sendo que este último, é o que apresenta maior atraso. De forma geral, há um preconceito ou acomodação pelo uso de tecnologias convencionais, já conhecidas e incorporadas, mesmo com altos índices de desperdícios, como foi dito, anteriormente. No entanto, mesmo com essas perdas, talvez a margem de lucratividade para o setor, a grande oferta de mão-de-obra não qualificada e de baixa remuneração, fazem com que o setor não se mobilize de forma maciça para as mudanças. Também é importante salientar, que o investimento, em inovação, tem resultados de médio e longo prazo, o que não é interessante para alguns construtores.

O processo produtivo está montado em princípios, com práticas que vêm sendo aplicadas ao longo dos tempos, tidos como maneira correta. O rompimento de seus conceitos e práticas, é uma tarefa complexa que deve ser realizada, desde a formação acadêmica e, ao longo de toda cadeia produtiva.

O sistema construtivo com painéis industriais, tipo sanduíche, com núcleo de poliestireno expandido e telas eletro soldadas, aliado ao processo de argamassa projetada, também conhecido, na Europa como *Monolite*¹, vem ao encontro da necessidade do setor, adequando-se às exigências atuais, apresentando características próprias. Pode-se utilizar o sistema com um único elemento construtivo (vedações verticais e horizontais), proporcionar racionalização dos projetos, por ter características modulares, além de grande

¹ *Monolite* – Sistema Construtivo Monolite (Itália)
www.mdue.it

simplicidade e rapidez de montagem. Seus elementos possuem grandes dimensões, comparados, por exemplo, às modulações de tijolos e blocos cerâmicos. Podem, ainda, ser aplicados às mais variadas formas arquitetônicas. Este sistema construtivo contribui, ainda, para melhorar os ambientes construídos, ao incrementar o desempenho térmico das vedações verticais e da cobertura, pois, o poliestireno diminui os ganhos e perdas de calor, por possuir baixa condutividade térmica.

Sob o aspecto de racionalização, o sistema construtivo com painéis tipo sanduíche, com núcleo de poliestireno expandido e telas de aço eletro soldadas, também imprime significativa redução de desperdícios ao processo de construção, comparado aos sistemas convencionais, além da reduzida mão-de-obra, necessária para a produção dos painéis. A utilização destes painéis, possibilita a racionalização do processo de fabricação, na indústria e sua montagem, no canteiro, possibilitando economia desde as fundações, por ser mais leve que outro tipo de vedação. Também, minimiza os desperdícios e incrementa o controle de execução com aumento de qualidade, na sua produção. Diminui, ainda, a quantidade de mão-de-obra para sua aplicação, com o uso de equipamentos que proporcionam ganhos de produtividade e qualidade, além de reduzir o tempo de execução, com maior confiabilidade nos prazos de entrega.

1.2. OBJETIVOS:

1.2.1 Geral

Caracterizar o sistema construtivo com painéis portantes formados pela projeção de argamassa sobre painéis de poliestireno expandido, reforçados por telas de aço, em dois estudos de caso, na região da Grande Florianópolis.

1.2.2 Específicos

1. Levantar dados nacionais e internacionais, referentes à produção das obras executadas com paredes compostas de poliestireno e telas de aço;
2. Avaliar os aspectos compositivos, construtivos e estruturais dos elementos de vedação do referido sistema;

3. Analisar o desempenho higro-térmico das vedações nos dois estudos de caso;
4. Caracterizar a evolução desta tecnologia nos dois estudos de caso.

1.3 MÉTODO

O presente trabalho baseia-se em um método qualitativo, quantitativo e exploratório, que busca a caracterização tecnológica do sistema construtivo, através do levantamento de dados e das análises de desempenho realizadas, segundo as normas específicas para os dois estudos de caso.

A revisão da literatura foi realizada por meio de livros, revistas especializadas, artigos técnicos, anais de congressos, Internet, visitas a obras e outras fontes de pesquisa, cuja seqüência de elaboração do trabalho é discriminada a seguir:

1. Levantamento gráfico, fotográfico e descritivo dos estudos de caso, contendo plantas, cortes, fachadas e detalhes construtivos dos estudos de caso;
2. Avaliação compositiva dos painéis do sistema construtivo utilizados nos estudos de caso;
3. Análise do desempenho higro-térmico dos elementos de vedação dos estudos de caso, segundo método analítico proposto pela norma brasileira, NBR 15220 - Desempenho térmico de Edificações e pela norma espanhola, NBE-CT-79 – “*Condiciones térmicas en las edificaciones*”, além do desempenho térmico global da edificação através da norma espanhola;
4. Análise de desempenho estrutural, método proposto pelo Projeto de Norma de Desempenho de Edificações, CE 02.136.01 – Sistemas de vedações verticais externas e internas através dos ensaios de Corpo Mole e Corpo Duro para as vedações verticais.

1.4 REQUISITOS DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Para se definir com clareza os estudos de caso, foram adotadas obras executadas com características semelhantes, residenciais, verificando sua evolução construtiva, na aplicação do sistema construtivo com painéis formados pela projeção de argamassa sobre painéis de poliestireno reforçados por telas de aço, localizados em Florianópolis.

1.5 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 6 capítulos.

O capítulo 1 apresenta dados referentes ao trabalho, sua justificativa, seus objetivos, métodos e requisitos de seleção para escolha dos estudos de caso.

O capítulo 2 apresenta o estado da arte do sistema construtivo com painéis formados pela projeção de argamassa, sobre painéis de poliestireno reforçados por telas de aço. As características compositivas das vedações, vedações com elementos cerâmicos, com painéis tipo sanduíche. A evolução do sistema construtivo com painéis de poliestireno expandido, suas características, a composição dos painéis. Os seus componentes, processos de fabricação, e comportamento do poliestireno, frente ao fogo. O processo de fabricação dos painéis constituintes do sistema construtivo. Um breve histórico do sistema construtivo e um panorama de sua utilização.

O capítulo 3 aborda as principais características do sistema construtivo em estudo, seus componentes, processo de fabricação e os tipos de painéis produzidos. As diretrizes de projeto, etapas de montagem na aplicação e detalhes construtivos.

O capítulo 4 aborda a aplicação dos requisitos e critérios de desempenho térmico para o sistema construtivo e análises de desempenho das vedações dos estudos de caso. Os requisitos e critérios apresentados neste trabalho são: desempenho térmico, higro-térmico e estrutural.

O capítulo 5 é dedicado à apresentação dos estudos de caso. São abordadas as tipologias de cada obra, como também, características dos painéis, modulação e execução com detalhamento das etapas construtivas de cada estudo de caso.

O capítulo 6 apresenta os resultados do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Técnicas construtivas das mais variadas na execução são utilizadas, desde processos artesanais, moldados “in loco” como alvenarias de taipa e de tijolos cerâmicos, até a utilização de processos industrializados de produção, com a utilização de um ou mais elementos na sua composição.

Grande variedade de produtos é disponibilizada no mercado, de simples elementos como tijolos e blocos cerâmicos, aos que possuem complexidade em sua composição, apresentando alto desempenho, desenvolvidos para atender as mais variadas exigências técnicas, além de grande variedade de materiais de acabamento, atendendo as mais variadas exigências.

2.1 CARACTERÍSTICAS COMPOSITIVAS DAS VEDAÇÕES

Os aspectos compositivos das vedações estão diretamente relacionados às exigências, a elas submetidas e ao desempenho necessário dos elementos de vedação.

Com a evolução do homem, seus hábitos sofreram alterações e também, seus níveis de exigência aumentaram, assim, conseqüentemente, as construções e seus materiais vêm acompanhando esta evolução, ao longo do tempo. Para exemplificar, analisando dois elementos de vedação para se ter um mesmo valor de Transmitância Térmica, igual a $1,266 \text{ W/m}^2\text{K}$, uma parede de alvenaria de tijolos cerâmicos teria uma espessura de 280 mm equivalendo a uma espessura de 80 mm apenas, se for utilizado um painel argamassado, tendo em seu núcleo uma chapa de poliestireno, com espessura de 25 mm, ou seja, menos de 1/3 da espessura. A necessidade de se ter processos construtivos mais leves, que proporcionem execuções mais rápidas, ocupando menos espaço, obtendo-se ganhos de área nos ambientes construídos, forçados pela redução das áreas disponíveis nos grandes centros urbanos e

pelo seu alto custo, com certeza, são fatores que contribuem para desenvolvimento de produtos com estas características.

A compatibilidade dos elementos de vedação com os sistemas construtivos é algo intrínseco para seu desempenho e seu sucesso. A necessidade de se ter processos construtivos de vedação, aliados às características estruturais, leva ao desenvolvimento do sistema construtivo, com paredes formadas pela projeção de argamassa, sobre painéis de poliestireno, reforçados por telas de aço.

2.2 VEDAÇÕES COM ELEMENTOS CERÂMICOS

As vedações com elementos cerâmicos, em função do seu bom desempenho, economia e durabilidade, aliada às estruturas de concreto armado, representam um grande percentual das construções executados, em nosso país.

Em função da antiguidade deste sistema construtivo e da diversidade cultural com suas variantes regionais, pode-se encontrar no mercado uma variação bastante grande de elementos cerâmicos, em suas formas, tipos de matéria prima, colorações e resistências. A Norma Brasileira NBR 7170 (1988), afirma que o tijolo é um componente maciço. Já a Norma Brasileira NBR 7171 (1992) trata da definição de blocos cerâmicos, como sendo: “Componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilindros perpendiculares às faces que os contém”. Ciria (1992) destaca que as dimensões destes tijolos devem ter uma proporção de $L \times L/2 \times L/3$, ou seja, (215 x 102,5 x 65) mm, mais 10 mm de junta com argamassa. Apesar da existência de Normas e do domínio dos processos de fabricação, onde se sabe, que a coloração e as dimensões dos tijolos dependem, principalmente, do tipo de argila utilizada e do processo de queima no forno, pois, quanto mais próximo o tijolo estiver do calor, mais escuros e menores serão suas dimensões. Observa-se em função disto, uma variedade bastante grande de produtos e muitos deles, com qualidade comprometida e que muitas vezes não são levadas em consideração, provocando conseqüências às vedações executadas com estes elementos.

2.3 ELEMENTOS DE VEDAÇÃO COM PAINÉIS TIPO SANDUICHE

Os painéis tipo sanduíche são aqueles que são formados por dois ou mais elementos, em sua seção transversal. Sua composição tem origem, nas necessidades de sua aplicação, sendo, então, constituído de elementos que irão atender às funções específicas de desempenho.

Geralmente são industrializados, onde se consegue produzi-los com qualidade compositiva e dimensional.

Vefago (2006) descreve que “A fachada cortina é um tipo de fachada composta, pois as camadas deste sistema possuem funções, que incidem na composição, no isolamento higr-térmico e acústico, na resistência aos impactos, na resistência ao fogo e na durabilidade do conjunto”. Siqueira Jr. (2003) define fachada cortina como sendo “um sistema formado por placas ou painéis fixados externamente, à base suporte do edifício, por uma subestrutura auxiliar constituindo-se no revestimento externo ou na vedação vertical exterior de uma edificação”. Contudo, vê-se mais uma vez demonstrado, que os elementos de vedação formados por painéis tipo sanduíche, surgiram de uma necessidade de se ter elementos construtivos mais eficientes, sob o aspecto de qualidade e de desempenho.

2.4 SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Os painéis de vedação das edificações, ao longo da história, vêm sofrendo modificações na sua composição, substituindo as antigas vedações como pedras, a velha taipa e até mesmo os tijolos. As inovações ocorreram, principalmente, pelo desenvolvimento da indústria de materiais de construção e ao emprego de novas tecnologias. Impulsionados pelo aumento do grau de exigências de seus habitantes, com relação à qualidade dos ambientes – habitabilidade e economia, as quais se correspondem às condições de conforto ambiental, segurança construtiva, estrutural, economia de custos e durabilidade compatível. Os painéis sanduíche surgiram desta evolução, com a união de elementos construtivos diferentes, onde os problemas foram minimizados e até resolvidos. Vê-se hoje, no dia a dia, inúmeros tipos de painéis sanduíche, sendo aplicados tanto nas vedações verticais, como nas coberturas. No início

dos anos oitenta, surge, na Itália, um sistema construtivo chamado de *Monolite*, aplicando as vantagens das inovações industriais, a um setor tradicionalmente pouco sensível a estas evoluções tecnológicas, como o da construção de edifícios. Com aplicação da engenharia de automação, no mundo da edificação, surgiu, então, um sistema construtivo composto por painéis constituídos, por poliestireno expandido, reforçados por telas de aço, os quais possuem produção industrial, recebendo revestimento final em concreto e/ou argamassa aplicados nas obras, onde se concluem as etapas do sistema construtivo. Esta tecnologia foi difundida em diversos países, entre eles: Itália, Portugal, Espanha, Rússia, Turquia, Líbia, Egito, Argentina, Chile, Venezuela, Guatemala, Costa Rica, México, França, países onde foram implantadas unidades de produção do sistema construtivo.

No Brasil, esta tecnologia, é trazida na década de noventa, quando o sistema construtivo foi submetido à análise pelo IPT, onde foram feitos todos os testes e ensaios normativos exigidos para comprovação de sua eficiência. Anos depois, vindo a encerrar suas atividades, ficando então a tecnologia, num primeiro momento, restrita às pessoas que com ela trabalharam na época. Com o passar do tempo, outras empresas passam a oferecer ao mercado produtos similares como o *Sistema Hitech*, empresa americana que atua no mercado brasileiro.

O sistema construtivo foi desenvolvido pela *Monolite*, que passou a denominar o processo construtivo como *Sistema Monolite*. Ela define o sistema como sendo: Um sistema construtivo, anti-sísmico, isolante termo-acústico, com o qual é possível realizarem-se, construções de vários pavimentos e edifícios arquitetônicos dos mais simples aos mais complexos.

O sistema construtivo está fundamentado pela união do processo industrial de produção dos painéis de poliestireno expandido e malhas de aço eletro soldada, cuja morfologia está desenhada para receber argamassa estrutural na obra, após montagens e instalações. Este sistema se baseia integralmente em painéis modulares produzidos industrialmente, conforme demonstrado na figura 2.1.

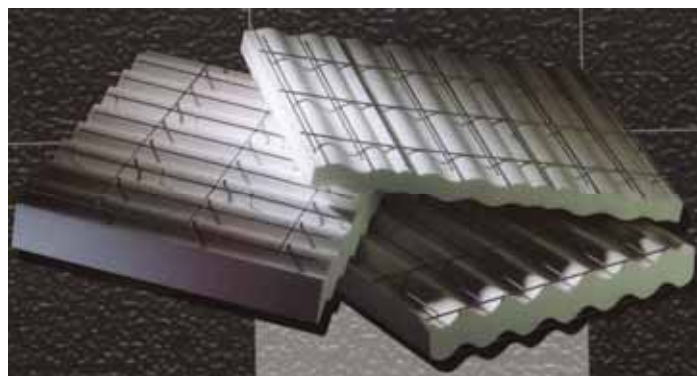


Figura 2.1 – Painéis do sistema construtivo com núcleo de poliestireno e tela de aço eletro soldada.
Fonte: PAMODIN, <http://www.pamodin.com>, (11/06/2007)

O poliestireno expandido utilizado no painel, localiza-se, na linha central neutra e suas formas conferem um desenho estrutural inteligente ao revestimento, que possui um aumento de sua seção por onde corre o fio da malha de aço e da armadura de reforço.

A função estrutural, é garantida por duas malhas de aço eletro soldadas, unidas entre si, por conectores, localizadas nas faces da chapa de poliestireno, que proporciona, também, qualidade térmica e de resistência ao fogo. Apesar de sua modularidade, o sistema é constituído por uma ampla gama de painéis industrializados, adequando-se, às mais diversas necessidades. Com a variação dimensional das telas, das malhas, da espessura de seus fios, e com variação das características de seu núcleo como, densidade, espessura e comprimento, o painel pode ser produzido com comprimento de até quatro metros. Os painéis, desta forma, possibilitam materializar todos e cada um dos elementos estruturais, de fechamento e de acabamento necessários para executar, totalmente, uma obra, apresentando, assim, absoluta flexibilidade aos projetos e grande poder de integração a outros sistemas construtivos.



Figura 2.2 – Aplicação do sistema construtivo
Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

Os painéis, pelas características de seus elementos componentes, na fase inicial de industrialização, proporcionam fácil manuseio, não exigindo equipamentos, como guias ou guinchos para seu deslocamento, até os locais de utilização, como também, para a sua aplicação; possuem grande leveza, sua utilização no canteiro de obra ocorre, também, de forma simples. São manuseados por operários, que executam seu posicionamento e fixação na fase de montagem, de forma bastante ágil e simples, permitindo a realização de qualquer tipo de construção, até em operações difíceis e de situações climáticas adversas.

Aos painéis, após executadas as etapas de montagem, travamento e instalações, se aplica o revestimento que irá conferir rigidez. Conforme a função de aplicação do painel, seu revestimento poderá ser composto por: 1ª. demão de concreto e 2ª. demão de argamassa, quando aplicado com finalidade estrutural; ou com duas demãos de argamassa, quando utilizado sem finalidade estrutural. Para melhor compreensão, a partir deste ponto, não será diferenciado o tipo de revestimento, adotando como padrão a argamassa. Os revestimentos são aplicados por meio de processo manual, ou através de dispositivo pneumático de projeção, em duas ou três demãos, com espessuras predeterminadas, conforme o caso. É recomendado o uso do equipamento pneumático, por questões de produtividade, qualidade de compactação do

revestimento e pela baixa vibração ocasionada aos painéis, comparando-a como o processo manual. Uma vez aplicado o revestimento, o painel, além de elemento de vedação, poderá se converter em elemento estrutural de alta capacidade de carga, monoliticamente vinculados entre si, sem formação de juntas de nenhuma classe. Ao mesmo tempo, os fechamentos com ele construídos, cumprem as funções de proporcionar isolamento térmica, que ultrapassa os requisitos mínimos exigidos pela norma.

O sistema pode substituir o que se tem dentro dos meios tradicionais da construção, a execução de estruturas de concreto armado, suas fôrmas e armaduras, alvenarias, rebocos, isolações horizontais e verticais, simplificando a interação complexa entre as uniões. O sistema construtivo apresenta característica de carregamento distribuído, e pela redução do peso próprio, suas necessidades de fundações serão menores, desta forma, simplifica sua execução e reduz os custos.

Dentre os tipos de painel existentes: Painel Simples - Vedação, Painel Simples – Portante, Painel Isolante, Painel Duplo – Portante, Painel Laje – Armadura Unidirecional, Painel Laje – Armadura Bidirecional, Painel Escada, Painel Especial – Isolante e Painel Especial – Estrutural. O Painel Duplo e o Painel Escada, figuras 2.3 e 2.4, demonstram alto grau de criatividade e inovação dando grande agilidade de execução. O Painel Duplo é constituído por dois painéis simples, separados um do outro, de acordo com a necessidade estrutural, unidos por meio de conectores de aço de alta resistência, entre os quais se pode colocar armadura adicional, caso seja necessário, e efetuar o preenchimento de seu interior com concreto, materializando, assim, uma estrutura que permite executar construções de vários pavimentos. Vê-se, neste tipo de painel, um sistema de construção contínuo, onde o painel é o elemento construtivo - parede e ao mesmo tempo fôrma para execução da estrutura de concreto - substituindo as tradicionais fôrmas de madeira, se comparado ao sistema tradicional de construção. O Painel Escada, simplifica e racionaliza a execução deste elemento construtivo, enquanto diminui a tradicional complexidade de execução desses elementos na obra.



Figura 2.3 – Painel Duplo



Figura 2.4 – Painel Escada

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

O sistema também possui notável simplificação para execução das instalações, onde é feita com muita simplicidade e rapidez, prezando a limpeza do ambiente construído sem a produção de entulhos e necessidade de retrabalhos. Outra vantagem que se vê no sistema, é o fato de não ter que recorrer a nenhum outro elemento construtivo, reduzindo e simplificando, assim, o processo de compra de materiais e remessas a obra como, também, um controle administrativo e de execução. Sua execução, não requer a utilização de ferramentas complexas e pesadas, nem requer mão de obra especializada, bastando que os operários recebam orientações e que sigam os procedimentos orientados do sistema construtivo. Por suas características, possui grande versatilidade, atendendo às diversas tipologias arquitetônica e estrutural com alta qualidade, podendo ser aplicado em construções dos mais variados tipos como: edifícios, residências, indústrias e obras especiais.

2.4.1 Características gerais do sistema construtivo

Como característica do sistema construtivo, pode-se citar que possui elevada capacidade estrutural, é monolítico, sísmo resistente e de elevada resistência térmica, podendo proporcionar, ao mesmo tempo, economia e rapidez na execução das fundações. É elemento de vedação e fôrma, sem necessidade de removê-los, em caso de painéis duplos, efetuando seu preenchimento com concreto. Após a colocação das instalações, pode-se aplicar o reboco diretamente sobre os painéis. Sob estes aspectos pode-se, também, verificar as vantagens deste sistema, com respeito aos demais sistemas, sendo que as telas presentes nas superfícies dos painéis permitem a execução de uma grande diversidade de tipos de reboco. O reboco aplicado

sobre as paredes reforçadas, pela presença da tela metálica, apresentará um resultado monolítico, minimizando e até excluindo possíveis problemas como o de fissuração, causados por esforços mecânicos e/ou térmicos. Assim, apresentando um reboco homogêneo e de qualidade superior, inclusive, no que se refere ao resultado estético. No que se refere às instalações (hidráulica, sanitária, elétrica, telefônica, etc.), é de grande simplificação na realização, a facilidade de execução dos sulcos para acomodar as instalações, confirma uma vez mais a validade do sistema. A operação requer pouco tempo, não necessita de assistência de pedreiros e ajudantes, podendo ser executado pelo próprio instalador e é uma operação absolutamente limpa. Numa primeira fase se traçam na parede o trajeto das instalações, logo se preparam os sulcos no poliestireno mediante um gerador de ar quente ou qualquer outra fonte de calor. Para terminar, colocam-se as tubulações por detrás das telas metálicas. Em caso de tubos rígidos, ou semi-rígidos, se abre à tela metálica na medida necessária, com alicates normais, para, logo em seguida, fechar-se após a colocação dos tubos.

Os painéis oferecem, para a execução de obras, elementos de um mesmo sistema construtivo, facilitando a execução dos trabalhos e, ao mesmo tempo, com compatibilidade a outros sistemas construtivos, com diversos materiais de acabamento, tendo grande flexibilidade de aplicação; É constituído por materiais de grande durabilidade e leveza - poliestireno e telas de aço - sendo de fácil manuseio e transporte aos locais de aplicação. Sua montagem ocorre de forma simples, podendo-se colocar os painéis de forma manual e conectarem-se uns aos outros, mediante o uso de uma pistola pneumática (grampeadeira), ou com uso de arame recozido e alicate, lembrando que estes materiais, grampos e arames, não poderão ocasionar pontes galvânicas, pois poderão vir a comprometer a qualidade dos elementos construídos. Pela continuidade do poliestireno presente nos painéis, vedação com o sistema construtivo, possui alta capacidade hidrófuga isolante, evitando qualquer possibilidade de pontes térmicas.

2.4.2 Composição do painel

Os painéis pré-fabricados tipo sanduíche, componente do sistema construtivo, são formados por dois elementos básicos: Poliestireno expandido,

como núcleo e aço, como armadura principal e secundária na utilização de telas eletro soldadas e armadura transversal, que são elementos de ligação para formação do painel. Finalizando o processo, na fase de aplicação em obra, o painel recebe o revestimento de concreto e/ou argamassa.

2.4.3 Poliestireno Expandido

O poliestireno expandido é um plástico celular que tem como matéria prima o poliestireno expansível. É um material rígido e de peso reduzido, um hidrocarboneto puro composto somente de carbono, hidrogênio e por 98% de ar. Sua estrutura é formada por milhões de pequenas células fechadas e cheias de ar que lhe conferem características excelentes de isolador térmico e absorvente de choque.

2.4.3.1 Processo de fabricação

O poliestireno expansível é submetido a um processo de transformação física, não alterando as suas propriedades químicas. Esta transformação processa-se em três etapas: Pré-expansão, Armazenamento Intermediário e Moldagem.

A expansão do poliestireno expansível, com densidade aparente de 600 a 700 kg/m³, é efetuada numa primeira fase num pré-expansor, figura 2.5, através de aquecimento, por contato com vapor de água. O estireno é introduzido sob a forma de pequenas pérolas, com diâmetro entre 0,4 a 2,5 mm, que em contato com pentano, um hidrocarboneto gasoso e com o vapor aquoso a temperatura de 90°C, provoca sua expansão fazendo que as pérolas aumentem seu volume entre 20-50 vezes, dependendo da duração e intensidade do tratamento, como se observa nas figuras 2.6. Por efeito do calor, o poliestireno se expande, uma vez que o agente de expansão se dilata, resultando num granulado de partículas de poliestireno constituídas por pequenas células fechadas, cheias de ar, que são armazenadas para estabilização. Nesta fase, ainda, as perolas de poliestireno sofre, novamente, expansão, conforme a densidade aparente desejada. Quando a temperatura volta a baixar, a parte externa da perola se esfria primeiro, não permitindo a

contração do material. Durante o período de repouso posterior, o ar penetra nos vazios internos do material expandido.



Figura 2.5 – Pré-expansor



Figura 2.6 – Perola de poliestireno – EPS (expansão)

Fonte ACEPE, www.acepe.pt, *fabrico*, (12/05/2006)

Após sua expansão, o poliestireno expandido sofre armazenamento para uma estabilização intermediária, etapa necessária para permitir sua posterior transformação. Finalizando o processo, as pérolas de poliestireno, são confinadas em moldes e expostas novamente ao vapor aquoso a temperaturas entre 110-120°C, as quais se expandem, agrupando uma às outras, tomando forma do molde. O processo de expansão é interrompido com a projeção de jatos de água contra o molde, provocando a redução do excesso de pressão no interior do corpo formado, possibilitando a retirada da peça moldada, como demonstrado na figura 2.7, estando assim prontos a serem utilizados ou recortados para posterior aplicação.

Para uso na construção civil, são fabricados produtos com processo de moldagem direta ou subprodutos recortados de blocos de poliestireno. Estes subprodutos dos blocos de poliestireno são produzidos com auxílio de equipamentos chamados recortadores ou pantógrafos, como mostra a figura 2.8, com os quais se efetuam recortes dos blocos, sendo este o processo de produção do núcleo dos painéis utilizados no sistema construtivo, em análise.



Figura 2.7 - Bloqueira

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

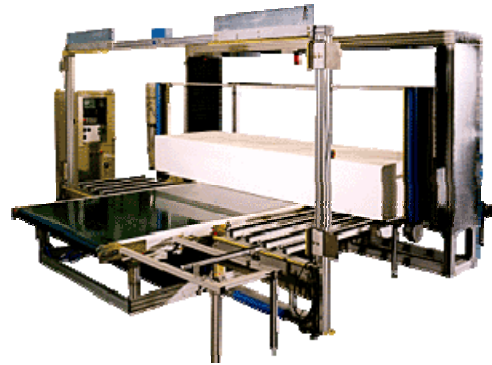


Figura 2.8 -Pantógrafo

É de extrema importância conhecer o comportamento do poliestireno expandido ao fogo. O poliestireno expandido não pode ser inflamado por faíscas ou resíduos em brasa, provenientes, por exemplo, de soldas elétricas ou por pontas acesas de cigarros. Ele é, assim, porquanto a energia aportada por estes materiais em brasa, é transformada em calor latente, necessário à fusão do poliestireno expandido quando este passa à fase líquida, aquela onde se previa toda possibilidade de inflamação. Somente chamas acesas e aplicadas sobre o poliestireno podem inflamá-lo.

Para descrever o mecanismo de inflamação e combustão, conforme a NBR 1948, classificando o poliestireno expandido como: Classe P - não retardante a chama e Classe F - retardante. O tipo F quando é aquecido, se contrai progressivamente a partir dos 100 a 120°C, entrando logo na fase líquida, com desprendimento de gases a partir dos 230°C. Não tendo chama externa presente, estes gases, não se inflamam; para que ocorra, é necessário o aporte de calor externo, dos 450 a 500°C, que pode se auto inflamar, sempre que a quantidade de oxigênio disponível seja suficiente. Uma vez inflamado, o material pode seguir sua combustão, até consumir-se totalmente. É importante salientar, que o ar que contém a estrutura celular de poliestireno expandido, não possui oxigênio suficiente para a combustão, sequer incompleta do material, e que, para que isso ocorra, há necessidade de uma quantidade de ar 130 vezes maior, em volume, do existente no material. Isso significa que não pode haver combustão de material, quando o mesmo se encontra protegido por uma capa de reboco ou outro elemento construtivo, que impeça a chegada de oxigênio, ainda quando uma chama externa (por exemplo, um curto-circuito),

se aplica ao mesmo. O poliestireno tipo F, classificado, também, como dificilmente inflamável, quando recebe calor externo, também se abranda, progressivamente, a partir dos 110 a 120°C, entrando em uma fase líquida e despreendendo gases a partir de 260°C. Estes gases somente podem inflamar, se existir uma chama externa aplicada aos mesmos, mas com suficiente aporte de oxigênio. Caso se apague, ou se retire a chama externa, a combustão cessa. Isto demonstra a estabilidade e segurança que o sistema construtivo, em análise, quanto à questão de situações de incêndio.

Ao se analisar a segurança contra incêndio das construções, é importante examinar o comportamento dos elementos construtivos vistos como conjuntos, e não o comportamento dos materiais, considerados isoladamente. Isto é de especial importância, no caso do poliestireno expandido, cujo comportamento, frente à ação do fogo, que lhe é aplicado, em forma direta, como descrito anteriormente. Quando o poliestireno expandido se encontra no interior das paredes, protegido por capas de reboco, ou colocado entre placas de concreto armado e contrapiso, valem as observações feitas sobre o progressivo abrandamento e a perda de resistência à compressão, na medida em que a temperatura se eleva acima das recomendadas, não se produzindo sem que ocorra a inflamação e combustão do material enquanto não houver aporte suficiente de oxigênio.

Um caso especial é o poliestireno expandido utilizado como agregado para concretos leves com esse material. Os elementos construtivos elaborados, com estes materiais, mostram um excelente comportamento, em casos de incêndio, sendo aptos para paredes corta fogo. Pois, em caso de um incêndio prolongado em um lado da parede, com produção de altas temperaturas, as perlas de poliestireno pré-expandidas incluídas no concreto, próximo ao paramento quente, se contraem, passando o concreto da parede a ter características de um concreto alveolar, com boas propriedades de isolamento térmica a altas temperaturas. Nas seções mais afastadas do lado quente, donde as temperaturas não são suficientes para liquefazer o poliestireno expandido, este mantém suas propriedades isolantes, pois o concreto com poliestireno expandido conserva seus valores de condutividade térmica originais.

Ao analisar o comportamento ao fogo do poliestireno expandido, é importante considerar, não somente as condições em que pode ou não produzir sua combustão, sendo também, importante avaliar quais são os efeitos desta combustão. Neste sentido, é interessante ter presente que o poliestireno expandido, tem, somente, de 1,5 a 2,5% de seu volume, de material, eventualmente combustível, e que seu aporte, em poder calorífico, em caso de incêndio, é de 145 a 240 kcal/dm³, frente a 2.400 kcal/dm³, que aportaria a madeira, considerada, somente, como efeito comparativo, pois seu peso é de 600 kg/m³. Então, chega-se à conclusão de que o aporte energético a um incêndio das quantidades de poliestireno expandido, que usualmente se podem empregar nas isolações de uma habitação, está bem abaixo do que realizaria, tão somente, uma pequena parte do mobiliário presente. Outra questão de capital importância, é o grau de toxicidade dos gases de combustão. O problema do poliestireno expandido não é a combustão, em si, mas a liberação dos gases tóxicos, como por exemplo, o gás carbônico (CO₂), podendo afetar de forma direta as condições de evacuação de um edifício incendiado e de luta contra o fogo. Tem-se demonstrado que a fração componente de seus gases de combustão, relevantes do ponto de vista toxicológico é, como no caso da madeira, o monóxido de carbono. Se compararmos as frações de monóxido de carbono contidas nos gases de combustão, quando estes alcançam uma temperatura de 300°C, temos 50 ppm (partes por milhão) para o poliestireno expandido tipo “F” e 10 ppm para os de tipo “P” e 400 ppm para a madeira. Se a temperatura dos gases chega a 400°C, tem-se 200, 50 e 6.000 ppm. Observam-se, claramente, os efeitos desfavoráveis, que têm as maiores temperaturas produzidas, por um incêndio, sobre a toxicidade dos gases da combustão, e por que o baixo aporte calorífico com que contribui o poliestireno expandido ao balanço energético total do incêndio de um edifício, cooperando com o desenrolar de temperaturas mais reduzidas e, portanto, quantidades menores de gases tóxicos.

2.4.4 Tela Soldada

As malhas utilizadas no sistema construtivo são produzidas com aço de alta resistência, com tensão última superiores a 600 MPa, com limite de

escoamento, $f_{yk} > 600 \text{ N/mm}^2$ e limite de ruptura, $f_{tk} > 680 \text{ N/mm}^2$. O aço utilizado poderá ser do tipo comum, zincado, galvanizado a quente e inoxidável, adequados as necessidades de aplicação e que garantam estabilidade e integridade ao longo do tempo.

2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS

Para a produção dos painéis, tem-se, inicialmente, a fabricação de seus componentes, núcleo e telas. O núcleo do painel, é obtido a partir de blocos de poliestireno produzidos com as características necessárias, como densidade e tipo auto-extinguível, figura 2.14. Os recortes são feitos com auxílio de pantógrafos que são equipamentos recortadores programáveis, que efetuam os recortes dos blocos. Funcionam com o princípio de fios aquecidos, que em contato com o poliestireno, efetuam os cortes desejados, conforme as necessidades de produção. Com eles pode-se variar a espessura de corte e as formas. O núcleo de poliestireno expandido utilizado no sistema construtivo, para a produção dos painéis de vedação possui forma de onda, como demonstra a figura 2.15, variando sua espessura, conforme a necessidade de aplicação.



Figura 2.14 – Bloco de Poliestireno moldado

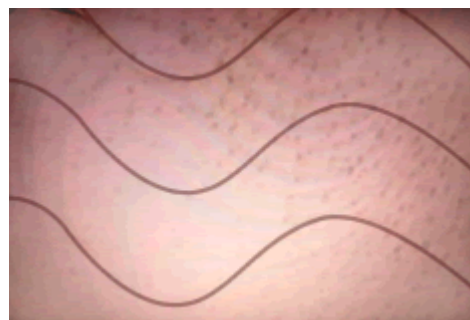


Figura 2.15 – Recorte do bloco de poliestireno

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

As telas podem ser produzidas com fios de aço, horizontais e verticais, com diâmetros iguais ou diferentes, dependendo da aplicação, da forma dos painéis. Os diâmetros poderão variar de 2 a 10 mm. As dimensões das malhas, também podem variar, de um mínimo de 50 a 300 mm de espaçamento. Combinando as medidas, nos dois sentidos, podem-se ter malhas quadradas e retangulares, figuras 2.16 e 2.17. A malha padrão, utiliza bitola de fio de 3,4

mm e apresenta um espaçamento médio, entre os fios de 73 por 130 mm, em uma direção secundária, porém, dependendo da aplicação, poderão variar a bitola dos fios e também, suas dimensões, além de receber adição de armaduras suplementares.

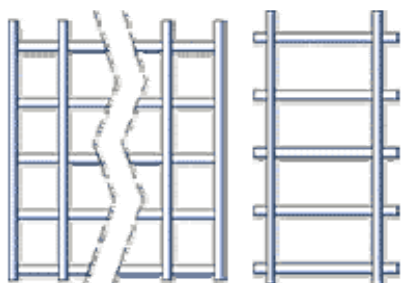


Figura 2.16 – Malha padrão

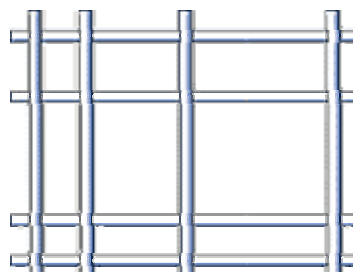


Figura 2.17 – Malha especial

Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, (20/06/2006)

As telas são produzidas, em aço galvanizado ou zincado, em bitolas variáveis, conforme as necessidades de aplicação, como também, são variáveis as dimensões de suas malhas. São produzidas em equipamentos eletromecânicos programáveis, como a figura 2.18, onde os fios de aço entram na máquina formando as telas que, por meio de pinças que, em contato com o aço, liberam calor efetuando a solda entre os fios dando forma a malha de tela, figura 2.19.

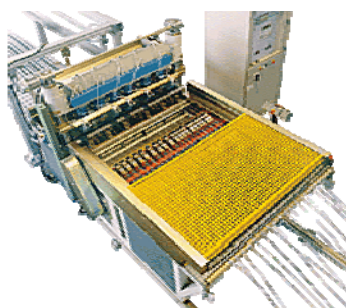


Figura 2.18 – Produção de telas



Figura 2.19 – Telas eletro soldadas

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

Os painéis são produzidos também em equipamentos de solda por resistência, onde são colocados na seqüência, telas / núcleo de poliestireno expandido / tela; este equipamento coloca, automaticamente, os pinos, que interligarão os elementos, efetuando, ao mesmo tempo, a solda por resistência

dos pinos, aos painéis de tela, como demonstrado nas figuras 2.20 e 2.21. Neste mesmo equipamento são produzidos os mais variados tipos de montagens de painéis, como: painéis simples, com variação de telas - bitolas e malhas, também variando, a espessura de seus núcleos, de 50 e 100 mm, como também, a produção de painéis duplos. Conforme as necessidades de aplicação e exigências de projetos, os painéis são recortados, por equipamentos, como mostrado na figura 2.22, ainda na linha de produção e, posteriormente, são codificados, conforme planta de montagem, otimizando os trabalhos na obra.



Figura 2.20 – Produção do painel simples



Figura 2.21 – Produção do painel duplo



Figura 2.22 – Equipamento para recorte de painéis

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

2.6 BREVE HISTÓRICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

O sistema construtivo, com painéis industrializados, tipo sanduíche com núcleo de poliestireno expandido e telas eletro soldada, foi desenvolvido por uma empresa italiana chamada *Monolite*, por volta do ano de 1980 e que, na ocasião, o denominou como *Sistema Monolite*. O sistema criado, então, fora desenvolvido, para atender as exigências técnicas, construtivas e climáticas de sua região, atendendo necessidades específicas locais, com altas temperaturas e outros, com invernos rigorosos, chegando a temperaturas negativas; atender, também, a solicitações estruturais críticas, como o caso de regiões, com abalos sísmicos. Da sua criação, a *Monolite* passou a implantar unidades de produção espalhadas por diversos países e hoje, com mais de vinte e cinco anos de experiência, possui vinte e cinco linhas de produção espalhadas pelo mundo. Está presente na Itália, Portugal, Espanha, Rússia, Turquia, Líbia, Egito, Equador, Bósnia, Argentina, Chile, Venezuela, Guatemala, Costa Rica, México, Panamá, Nigéria, Moçambique, França, Malásia, Qatar e Filipinas. No Brasil, o sistema chega na década de noventa,

quando foi analisado, junto ao Instituto de Pesquisa Tecnológico de São Paulo, onde foram feitos todos os ensaios necessários, de acordo com as Normas Brasileiras, os quais atingiram desempenho satisfatório. Por questões não conhecidas, a empresa pára suas atividades, anos depois, ficando a utilização da tecnologia, restrita às pessoas que, na ocasião, tiveram acesso a ela. Assim, desde então, a tecnologia está sendo aplicada, em nosso país, de forma bastante restrita.

Esta situação, vindo a se repetir, também em outros países, onde outros sistemas com características semelhantes apareceram. Locais com as características climáticas das mais variadas, desde regiões de deserto, onde se tem altas temperaturas, até regiões com temperaturas bastante baixas, como na Antártida, onde foi utilizado o sistema para construção de uma estação experimental para observação científica, figura 2.23.

2.7 PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

As aplicações do sistema construtivo são variadas, desde a execução de obras simples, como casas de conjuntos habitacionais horizontais, fig. 2.24, até a execução de obras verticalizadas, como hotéis, figura 2.27.



Figura 2.23 – Obra com painéis - Base / Antártida



Figura 2.24 – Obra com painéis - Venezuela

Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, Obras, (11/11/2006)

Sua aplicação, também se observa, nas regiões, com as variadas situações climáticas, desde elevadas temperaturas, figura 2.28, até baixíssimas, como se tem na Antártida, onde foram executadas quatro casas com área, em torno de 100 m² cada uma, figura 2.23, construídas para funcionar como centros de pesquisa.



Figura 2.25 - Obra com painéis - Buenos Aires

Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, Obras, (11/11/2006)



Figura 2.26 - Painéis de vedação- Puerto Madero



Figura 2.27 – Obra com painéis - Puerto Madero

Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, Obras, (11/11/2006)



Figura 2.28 – Obra em painéis - Omán

O sistema construtivo, por ser um processo que utiliza técnicas de argamassa armada, seus componentes estão sujeitos às mesmas degradações como os elementos produzidos em concretos e argamassas. Pelas características de composição do traço adotadas para revestimentos dos painéis do sistema construtivo e pelos procedimentos de produção, busca-se minimizar os efeitos de agentes causadores de degradação aos elementos construídos. Para a produção das suas argamassas, adota-se uma relação água/cimento baixa, controle do teor de umidade dos agregados, o uso de fibras, aditivos e um maior controle de produção.

A aplicação dos revestimentos é executada, com auxílio de projetores pneumáticos que, além de imprimirem maior produtividade, conferem maior qualidade aos revestimentos, pela sua regularidade de aplicação e compactação com redução de vazios. Além dos controles anteriores descritos, é exigido, que ocorra uma cura úmida dos revestimentos executados, obtendo-se assim, maior qualidade dos elementos construídos, tentando-se minimizar problemas como fissuração por retração. A presença do núcleo de poliestireno expandido no interior dos elementos, contribui para uma maior qualidade de seus elementos sob o aspecto de possíveis patologias relacionadas a umidade.

3. SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS DE POLIESTIRENO E TELAS SOLDADAS

Este capítulo apresenta aspectos específicos do sistema construtivo, apresentando uma visão geral, desde a fabricação dos painéis e de sua aplicação, as etapas do processo da análise de projeto, paginação, determinação das necessidades dimensionais e modulares, montagem, fixações, instalações e revestimentos, assim como, os processos empregados nos estudos de caso.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS TIPO SANDUICHE COM NÚCLEO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E TELAS DE AÇO ELETRO SOLDADAS

O sistema construtivo está baseado, a partir de um tipo de painel, que é composto por núcleo de poliestireno expandido e telas eletro soldadas, chamado de Painel Simples, demonstrado na figura 3.1.

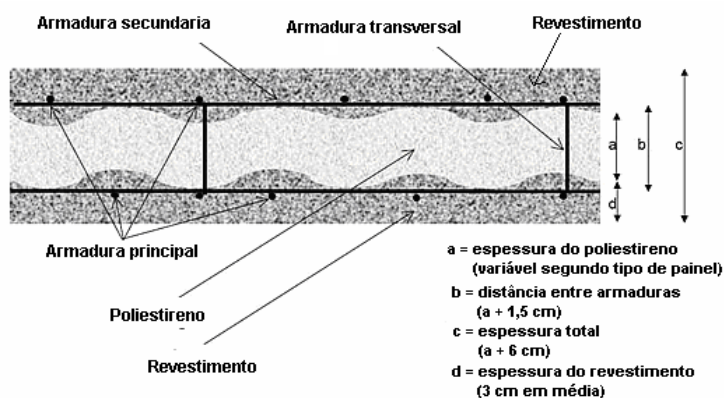


Figura 3.1 - Detalhe do Painel de poliestireno, armadura e revestimento.
Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, Memorial Descritivo, (11/11/2006)

Este painel ao sofrer alterações, em sua composição, como variação de densidade e/ou espessura do poliestireno (núcleo), espessura dos fios de suas malhas de aço, sua dimensão, passam a dar ao painel construído

características das mais variadas, podendo, assim, ter suas aplicações nas mais diversas situações. Os painéis podem ser utilizados como elementos de vedação vertical e horizontal. Como elemento vertical, ele poderá ser utilizado, como simples vedação, aliado a outro sistema, com função estrutural, ou ser utilizado como elemento estrutural e também, com função de vedação.

O Painel Duplo é composto por dois painéis simples, separados um do outro, de acordo com a necessidade estrutural, unidos por meio de conectores de aço de alta resistência, entre os quais se pode colocar armadura adicional, caso seja necessário, e efetuar o enchimento de seu interior com concreto, materializando, assim, uma estrutura que possibilite efetuar construções com grandes alturas. Vê-se, neste tipo de painel, um sistema de construção contínuo, onde o painel é o elemento construtivo – parede - e fôrma, para execução da estrutura de concreto, substituindo as fôrmas de madeira, comparando com ao sistema convencional de construção, recebendo, externamente, o revestimento projetado descrito anteriormente.

Dependendo das necessidades de aplicação, por exemplo, isolamento acústico, na constituição do painel, junto ao núcleo de poliestireno, poderá ter outros elementos, desta forma, vir atender as exigências da construção. Os painéis poderão ser utilizados como elementos de vedação horizontal, em lajes entre pisos e, também, de coberturas, em lajes planas, inclinadas e em forma de arco. Como dito anteriormente, nesses casos são adicionados aos painéis, na fase de fabricação ou em sua aplicação em obra, armadura adicional atendendo, assim, as necessidades de carregamento. Outro elemento construtivo que vem proporcionar ganho de tempo e qualidade na execução de obra, é o Painel Escada, que simplifica e racionaliza a execução deste elemento construtivo, diminuindo enormemente a complexidade de execução desses elementos na obra. De uma forma geral, o sistema possui grande flexibilidade de utilização, vindo a atender as exigências construtivas das mais variadas.

3.2 PROCESSO CONSTRUTIVO

O processo Construtivo utiliza painéis compostos por blocos formados de poliestireno expandido, estruturados por telas de aço eletro soldadas, os

quais são dispostos na seqüência - tela - poliestireno - tela, formando, assim, um conjunto único. Comparando-se com outros elementos de vedação e por suas dimensões 100X1000X2600mm, são, relativamente leves, possibilitando, então, fácil manuseio por parte dos montadores e ajudantes de montagem. Pelas características do processo e por sua simplicidade não requer uma mão-de-obra especializada. Seu transporte da fábrica, até o local de aplicação, apresenta grande facilidade, por se tratar de material leve, não exige a utilização de equipamentos de grande porte para o manuseio dos painéis, como por exemplo, o uso de guias, como ficou dito anteriormente. A montagem é feita de forma seqüencial, conforme determina o projeto de montagem e, posteriormente, se executa o travamento dos painéis montados, com auxílio de réguas metálicas ou, até mesmo com uso de madeiras. Os painéis, após seu travamento, recebem as instalações que ficarão embutidas no poliestireno e por último são executados os revestimentos.

3.2.1 Componentes do sistema

O sistema construtivo é formado por painéis que são compostos pelo conjunto: tela de aço - poliestireno expandido - tela de aço. O painel funciona como uma fôrma de material isolante que recebe revestimento nas duas faces, podendo ter função de elemento de vedação simplesmente, ou também, com função estrutural. Os painéis são produzidos nas dimensões padrão de 100X1000X2600mm, ou em outras dimensões, conforme projeto. São produzidos variados tipos de painéis, tanto para aplicação, como elemento vertical, painéis para simples vedação e painéis portantes com função estrutural e como painéis de vedação horizontal: como painéis lajes de piso e painéis de coberturas. O princípio se mantém o mesmo, variando-se a forma, espessura e características do poliestireno expandido, como também, as bitolas de aço utilizado e sua malha. São utilizados painéis simples, com função estrutural para obras de até quatro pavimentos e para maiores alturas utilizam-se painéis duplos, onde, em seu interior, serão utilizadas armaduras estruturais adicionais e, posteriormente, preenchido com concreto, desta forma, os painéis servindo de fôrma para uma estrutura de concreto armado. Com estes modelos de painéis, podem-se construir obras verticais com vários

pavimentos. O sistema se adapta à elaboração de projetos dos mais simples aos mais complexos.

Para a fase de montagem dos painéis em obra, é necessário efetuar a amarração entre as telas e demais elementos estruturais. Para sua execução, recomenda-se o uso de grampeadoras pneumáticas, como mostrado na figura 3.2, pois proporcionam grande produtividade e padronização na fixação. Porém, esta operação poderá ser executada de forma manual, com o uso de arame e alicates, ferramentas comuns nos canteiros de obra. Importante lembrar que, os materiais constituintes dos grampos e os utilizados para amarração, sejam compatíveis com o aço das telas e armaduras evitando, assim, a formação de pontes galvânicas.

Para a fase de instalações, onde se tem necessidade de abertura de sulcos, que receberão as tubulações, utiliza-se, como ferramenta auxiliar, soprador térmico, do tipo mostrado na figura 3.3, que produzem ar quente que projetado sobre o poliestireno expandido, provoca a contração do material. Como alternativa a este, pode-se utilizar maçarico, equipamento utilizado para solda.

O uso de equipamentos de projeção na construção tem proporcionado um passo decisivo na economia da mão-de-obra, relativa às operações de reboco, de construções de edifícios. Com o uso de rebocadoras pneumáticas - tipo caneca, como demonstrado na figura 3.4, pode-se obter economia na execução dos revestimentos, sem o emprego de mão-de-obra especializada. O equipamento, ainda proporciona a execução de um revestimento de melhor qualidade, pela aplicação da argamassa, com uma energia maior e constante ao longo da execução, qualidades, que dificilmente, se alcançaria, mediante uma operação manual. O operário que trabalha com uma rebocadora, com um fornecimento contínuo de material, poderá chegar a rebocar, em uma hora de trabalho, até 60 m² com uma espessura de argamassa de aproximadamente 1 cm, sendo que o reboco efetuado, desta forma, oferece regularidade de sua qualidade, pois a forma de projeção se mantém constante, ao longo de sua operação. Lembrando que, para se chegar a este nível de produtividade, é necessários terem-se condições favoráveis, como projeto e outros equipamentos auxiliares, como andaimes especiais, desmontáveis. Com a

rebocadora se podem efetuar rebocos finos e desta maneira reduzir os custos e desperdícios de material, obtendo, ao mesmo tempo, um maior rendimento, além de ser ideal para rebocar os painéis do sistema construtivo adotado. As rebocadoras se classificam em duas versões, para aplicação em paredes e para tetos, modelos mostrados na figura 3.4. Os equipamentos padrão possuem quatro orifícios utilizados para reboco grosso, salpicado, etc. Têm-se, também, equipamentos com dois orifícios que são utilizadas para rebocos finos.



Figura 3.2 - Grampeadeira
Pneumática



Figura 3.3 – Soprador
Térmico



Figura 3.4 – Rebocadoras
pneumáticas

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

3.2.2 Tipos de painéis

Pela flexibilidade que o sistema apresenta, poderão ser produzidos os mais variados tipos de painéis atendendo, assim, as mais diversas necessidades. Dentre eles se podem citar:

- Painel paredes divisórias;
- Painel simples;
- Painel duplo;
- Painel piso;
- Painel escada e;
- Painéis especiais.

O Painel paredes divisórias, figura 3.6, se aplica em construções de, até quatro pisos, com estrutura portante, com projeção de argamassa estrutural sobre ambas as faces. Poderá ser utilizado como fechamento vertical em fachadas exteriores e paredes internas, como divisórias: - tanto em edifícios novos ou em reformas - ou como fechamento vertical exterior e interior em edifícios industriais e comerciais de grandes dimensões.

O Painel simples, figura 3.5, é um painel isolante utilizado para revestimento mono-capa, utilizados em obras já construídos, aplicados em paredes existentes, externas ou não. Sua aplicação confere um maior isolamento e conforto às habitações dos edifícios, possibilitando um excelente desempenho energético e econômico, sendo fácil restabelecer o isolamento térmico no interior de edifícios, eliminando totalmente as pontes térmicas.

O Painel duplo, figura 3.7, é um painel desenvolvido para construção de paredes portantes, de contenção inclusive para piscinas. É constituído por dois painéis base, adequadamente perfilados e unidos entre si, por meio de duplos conectores transversais, mantendo assim, um espaço entre eles para ser preenchido com concreto, conforme as exigências estruturais.

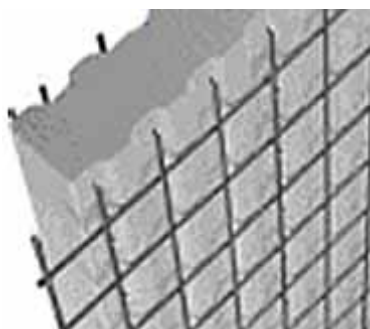


Figura 3.5 – Painel Simples

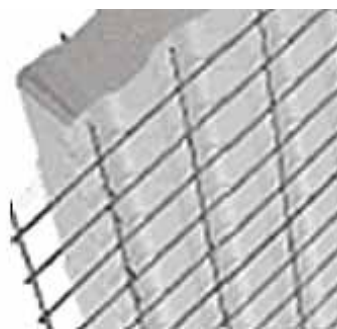


Figura 3.6 – Painel vedação portante



Figura 3.7 – Painel Duplo

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

O Painel piso, pode ter armaduras unidirecionais, figura 3.8 ou armaduras bidirecionais, conforme figuras 3.9. Utilizado para a execução de lajes de entre piso, é um painel, que permite integrar barras de aço adicionais, em espaços predispostos por canaletas, para, posteriormente, se efetuar concretagem em obra de maneira convencional. O painel poderá ser utilizado, também, como caixão perdido para coberturas de tetos e para lajes de entre pisos.

O painel escada, constituído por: núcleo de poliestireno expandido, cortado e perfilado com base nos desenhos de projeto - duas malhas de aço conformadas e unidas, entre si, por meio de conectores de mesmo aço eletro soldados. Neste painel, são colocadas armaduras adicionais, treliças, em túneis existentes no núcleo que serão por ocasião da aplicação na obra, concretados, conforme se vê na figura 3.10. O painel escada se caracteriza por

sua facilidade de utilização, rapidez executiva aliada à sua particular leveza e alta resistência estrutural, podendo ser utilizado, em escadas de vão livre, de até seis metros.



Figura 3.8 – Painel Piso com armadura adicional-unidirecional



Figura 3.9 – Painel Piso com armadura adicional-bidirecional



Figura 3.10 – Painel Escada com armadura adicional

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

Os Painéis especiais são aqueles, que na composição dos painéis, ainda se pode ter, a inserção de diferentes tipos de materiais isolantes, como cortiça, lã de rocha e outros elementos, conforme necessidade. Aumentam sua capacidade de isolamento térmico e/ou características de isolamento acústico, conforme mostrado na figura 3.11. E de acordo com a necessidade estrutural, com a aplicação de uma armadura dupla eletro soldada em cada face, como demonstra a figura 3.12, para resistir pressões horizontais, tanto estáticas como dinâmicas.



Figura 3.11 – Painel especial com material isolante adicional

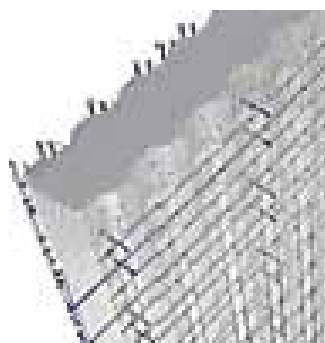


Figura 3.12 – Painel especial com malha dupla

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

Na tabela 3.1, a seguir, são demonstradas as diferentes espessuras de vedações necessárias para se obter uma mesma transmitância térmica que se verifica entre vedações verticais executadas, com painéis do sistema

construtivo e sua equivalência em vedações executadas, com alvenaria com blocos cerâmicos.

Tabela 3.1 – Comparações das espessuras das com alvenaria de bloco cerâmico para uma mesma transmitância térmica. (Monoplac)

Descrição	Espessura EPS (mm)	Densidade EPS (kg/m ³)	Espessura Painei Argamassado (mm)	Espessura equivalente Alvenaria cerâmica (mm)	Transmitância Térmica (W/m ² °C)
Painel Parede Ondulado-25	25	10	80	280	1,26633
Painel Parede Ondulado-50	50	10	110	550	0,720
Painel Parede Ondulado-90	90	10	150	980	0,430
Painel Parede Ondulado-140	140	10	200	1510	0,289
Painel Piso Nervurado-100	100-40	15	150	-	0,470

3.3 DIRETRIZES BÁSICAS PARA PROJETO

Quando se busca maior racionalização na aplicação do sistema construtivo, deve-se levar em consideração seu aspecto dimensional, desde a elaboração dos projetos. Assim, se terá um maior aproveitamento dos painéis, obtendo maior produtividade em sua execução. Se para a produção dos painéis, na indústria, ocorrerem de acordo com as necessidades de aplicação, com recortes de aberturas e outras características, na utilização, no canteiro de obra, teremos uma montagem com maior produtividade. Mesmo em situações, onde se tem projetos não concebidos para sua modularidade, sua utilização se dá de uma forma bastante simples, pois o painel é facilmente recortado, podendo ter um aproveitamento integral do material.

3.3.1 Modulação e coordenação dimensional

Os produtos industrializados necessitam de ferramentas de desenho e produção, para que haja uma sistematização de fabricação, na indústria e, de montagem dos painéis, na obra. A industrialização da construção de um edifício, segundo Rosso (1976), está composta por duas fases: a primeira é chamada de fase abstrata, ou seja, é o projeto da obra de arquitetura que qualifica e organiza os ambientes e suas funções, segundo as exigências

humanas. A segunda fase é a concreta, isto é, a construção física do edifício. Esta última é realizada por meio da racionalização do projeto, que tira partido da coordenação dimensional. Rosso (1976) comenta ainda que “A coordenação dimensional não deve ser entendida como mero instrumento geométrico, mas também, físico e econômico. Não está vinculada, apenas à composição arquitetônica, mas também, à tecnologia e à produção”. Isto porque a coordenação dimensional, não só dimensiona os espaços, de modo a garantir a perfeita realização de tarefas nestes ambientes, mas também, possibilita a correta fabricação do produto, a integração, intercambiabilidade e correlação com outros sistemas construtivos.

O sistema construtivo com painéis industrializados tipo sanduíche, de poliestireno expandido e telas eletro soldadas, possui, como característica, a repetição dimensional, partindo de um painel de dimensões padrão, que imprime uma característica modular. O seu uso poderá se dar em execução de projetos adequados ao processo, onde se considerou a multiplicidade dimensional ou, na execução de projetos não elaborados para este fim. Além de uma modulação padrão, os painéis podem ser produzidos em diferentes formatos, ou ser adequados a diferentes padrões atendendo, assim, as mais variadas aplicações em obras.

O módulo básico adotado pelo sistema internacional, é de 10 cm ou múltiplos. A Alemanha adota o padrão 12,5cm e o padrão Americano, polegadas. Em 1950, o Brasil já dispunha de uma norma sobre coordenação modular, a NB-25, que adotava o módulo básico de 1 decímetro. Como não foi colocado em prática, hoje, temos mais de um padrão modular sendo utilizado, no território nacional, como exemplo, a produção de parafusos, que são em polegadas e milímetros. A modulação dos produtos traz uma série de benefícios, como maior intercâmbio comercial, racionalização dos processos, maior produtividade e existe uma forte tendência mundial pela adoção pelo padrão do sistema internacional.

O desenvolvimento de um projeto, onde se tem, como base a modulação dos painéis, a fase de execução terá maior racionalização e produtividade. A coordenação modular pode ser uma ferramenta de projeto que adota uma unidade de medida para sua racionalização e para padronizar os elementos da construção, facilitando a fabricação e a montagem dos componentes.

3.4 PROCESSO DE MONTAGEM DOS PAINÉIS DE POLIESTIRENO

As ligações entre fundações e painéis de vedação, no sistema construtivo, é de fundamental importância, pois, elas serão responsáveis pela continuidade estrutural, entre fundações e paredes. Na figura 3.13, demonstra a forma correta do início de montagem dos painéis e também, as armaduras de ancoragem presente nas fundações, que darão consolidação, entre elas. A figura 3.14 demonstra a seqüência de montagem de painéis inteiros e um vão de porta sendo executado.

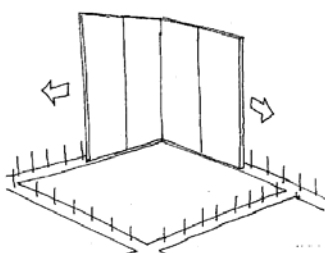


Figura 3.13 - Montagem de painéis

Fonte: CASSAFORMA, www.cassaforma.com.ar, *Instrucciones para la ejecucion*, (10/11/2006)

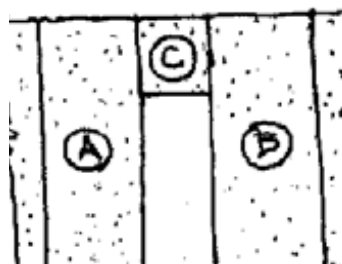


Figura 3.14 - Montagem em vão de porta

Conforme demonstrado, nas figuras 3.15, 3.16 e 3.17, observa-se, com que facilidade se executa a montagem dos painéis parede, escada e laje.



Figura 3.15 – Montagem Painel
Parede Duplo



Figura 3.16 – Montagem
Painel Escada



Figura 3.17 – Montagem Painel
Laje

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

As figuras 3.18 e 3.20 são orientações, com relação ao posicionamento dos elementos de travamento e fixação dos painéis montados, como também, a forma de fixá-los. A figura 3.19, orienta como efetuar o correto posicionamento de prumo da parede montada.

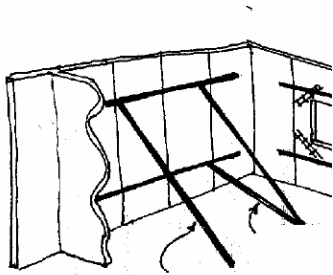


Figura 3.18 – Montagem

Fonte: www.Cassaforma.com.ar, *Instrucciones para la ejecucion de obras*, (10/11/2006)

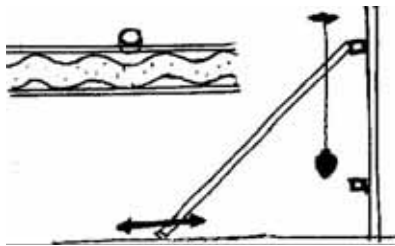


Figura 3.19 - detalhes alinhamento e prumo

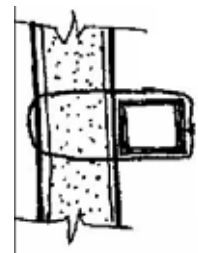


Figura 3.20 – Detalhe de fixação da régua

3.4.1 Colocação das armaduras de reforços

Após montagem e correto posicionamento dos painéis constituintes dos elementos de vedação, figura 3.21, é necessário que se efetue a colocação de telas de reforço, em locais específicos, como demonstrado, nas figuras 3.22 a 3.24, pois, elas irão dar continuidade estrutural aos elementos, tornando a estrutura metálica contínua.

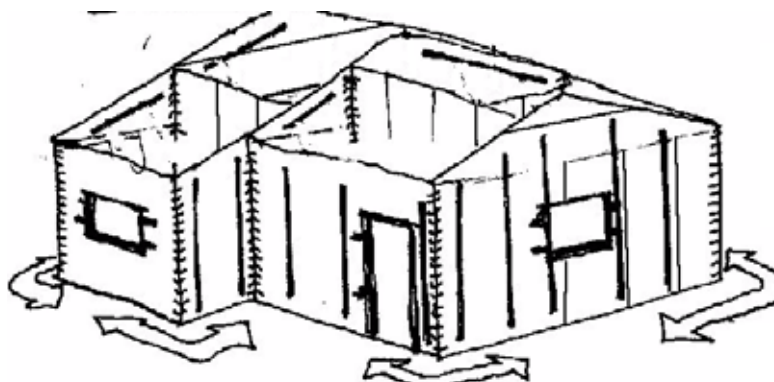


Figura 3.21 - Colocação da telas de reforço.

Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, *Instrucciones para la ejecucion*, (10/11/2006)

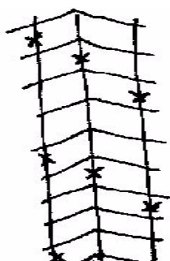


Figura 3.22 - Telas de reforço angular

Fonte: www.Cassaforma.com.ar, *Instrucciones para la ejecucion de obras*, (10/11/2006)

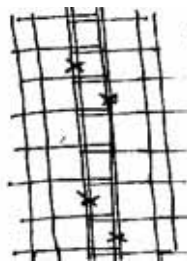


Figura 3.23 – Traspasse de telas

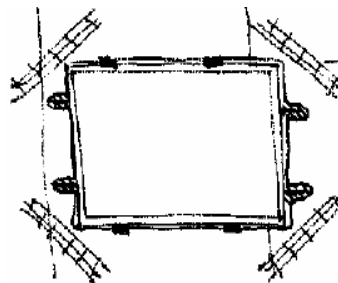


Figura 3.24 - Telas planas de reforço

Para a montagem de lajes e coberturas pode-se observar, na figura 3.25, detalhes do posicionamento dos painéis, colocação de armaduras de reforço, em situações de lajes, com e sem beirais, o seu correto escoramento, sua contra flecha e orientações de segurança para se caminhar, sobre os painéis, antes da sua concretagem.

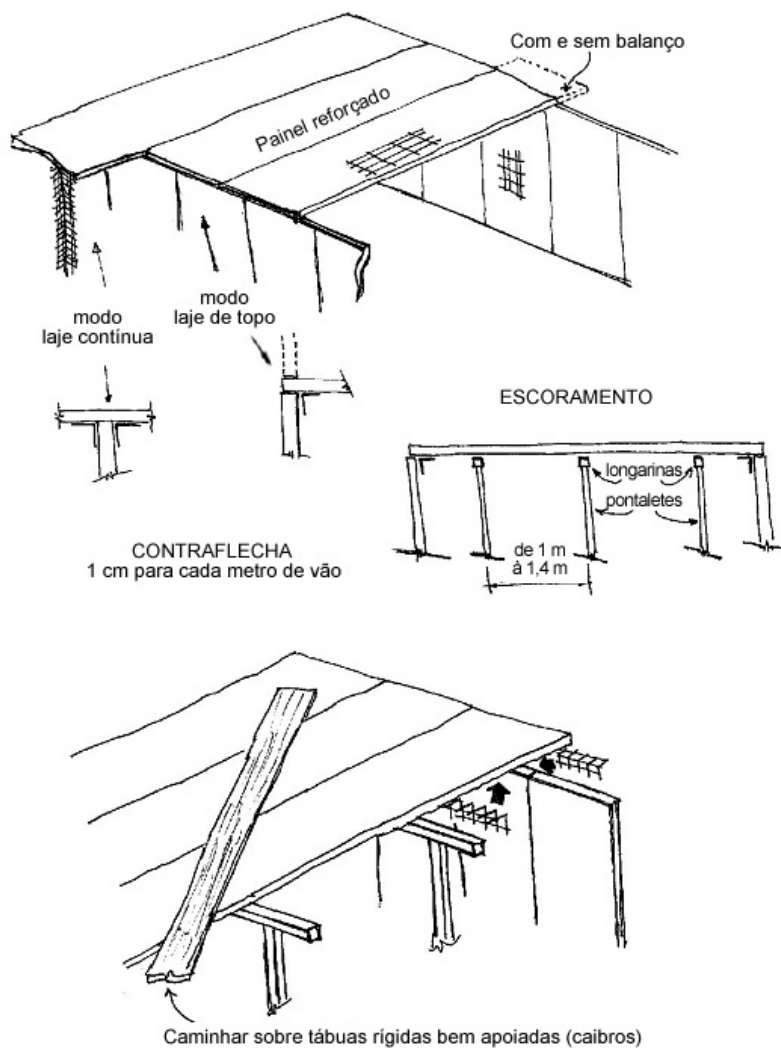


Figura 3.25 - Montagem de lajes e coberturas

Fonte: www.Cassaforma.com.ar, *Instrucciones para la ejecucion*, (10/11/2006)

3.4.2 Colocação das instalações elétricas e hidro-sanitárias

A execução das instalações elétricas e hidro-sanitárias, como demonstram as figuras 3.27 e 3.28, com a colocação de eletrodutos, tubos e outros elementos. Como vemos na figura 3.26, tem seu início pela execução de sulcos, no painel com auxílio de um soprador de ar quente, posteriormente, sendo executadas as instalações.



Figura 3.26 – Execução de sulcos para instalações nos painéis



Figura 3.27 – Execução de instalações elétricas nos painéis



Figura 3.28 – Execução de instalações hidráulicas nos painéis

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

Por ocasião da execução das instalações devem-se ter cuidados, quanto ao posicionamento das caixas de passagem, evitando pontos sem poliestireno, na parede, como também, problemas com espessura final da parede, que poderá ser alterado em função da espessura desses elementos e não o necessário para revestimento da parede. Como se pode observar, nas figuras 3.29a e 3.29b.



Figura 3.29a – Colocação da caixa de passagem no painel



Figura 3.29b - Posicionamento de caixas de passagem em lados opostos do painel

Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, *Instrucciones para la ejecucion*, (10/11/2006)

3.4.3 Projeção e concretagem dos painéis

A aplicação de concretos de enchimento estrutural e de revestimento, nos painéis do sistema construtivo, figuras 3.30 e 3.31, são etapas que possuem grande praticidade de execução.

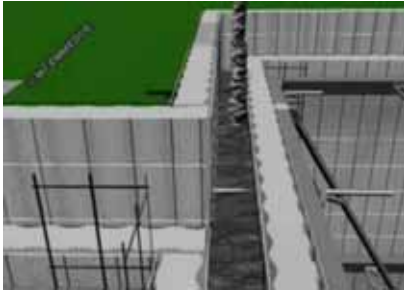


Figura 3.30 – Concretagem em painéis duplos



Figura 3.31 – Projeção de argamassa em painel

Fonte: EMEDUE, www.mdue.it, *Produtti*, (25/07/2006)

O cobrimento da armadura, conforme figura 3.31, deve ser feito de forma a garantir sua integridade de acordo com cobrimento mínimo exigido. Para a execução de revestimento dos painéis, o sistema utiliza equipamento de projeção pneumático, sendo que para serviços sobre painéis parede utilizam-se canecas, conforme pode ser visto, na figura 3.33, e para execução, em tetos, como mostra a figura 3.34, que apesar de serem semelhantes, possuem ângulos diferentes de projeção. Para o revestimento da face superior da laje, são executadas com concreto.

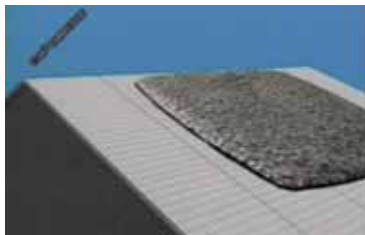


Figura 3.32 – Concretagem da laje de cobertura

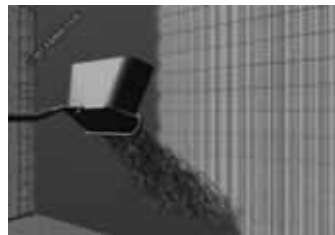


Figura 3.33 – Projeção de argamassa em parede

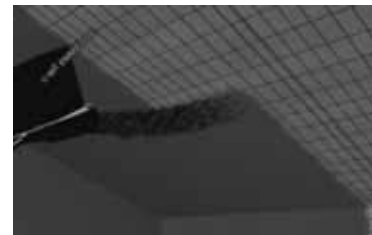


Figura 3.34 – Projeção da argamassa em teto

Fonte: EMEDUE

3.4.3.1 Dosagem do revestimento estrutural

Os revestimentos que são aplicados, nos painéis do sistema construtivo, devem ter alta resistência, apresentar baixa retração e ter facilidade de aplicação apresentando fluidez e plasticidade, pois, deverá ser aplicado em camadas com espessuras de 1,5 a 2 cm, sem que ocorram vibrações ao painel. Assim, para satisfazer as condições anteriores, a relação cimento e areia, deve estar entre 3,0 e 4,5. A quantidade de cimento Portland varia, em função da granulometria dos agregados constituintes de seu traço. A relação água/cimento (A/C), pode variar de acordo com o tipo de revestimento e resistência desejada. O traço é composto por agregados com granulometria,

que variam de 0 a 6,4 mm, traço poderá variar de, 1:3 até 1:4,5, em peso, dependendo da granulometria dos agregados utilizados. Lembrando que, é de extrema importância ter-se conhecimento da umidade presente na areia, pois, deve ser descontada esta umidade existente, para que o traço tenha a relação água cimento correta. São utilizados na elaboração da argamassa, aditivos plastificantes e fibras de polipropileno. Quanto ao plastificante, seu uso é importante para evitar a baixa trabalhabilidade das misturas obtidas e pelas proporções recomendadas com o reduzido consumo de água na sua produção, lembrando, que o aditivo utilizado, deverá ser misturado à água, antes de sua utilização, na betoneira. As fibras: - seu uso tem a finalidade de formar uma malha anti-retração e, ao mesmo tempo, aumentar a tenacidade da argamassa, lembrando que devem ser adicionadas, por último, na produção do traço, deixando bater na betoneira, por um tempo determinado, para que elas se incorporem ao traço de forma homogênea. Deve-se, também, utilizar medidas padrão, para que se tenha uma uniformidade e regularidade em sua produção.

Devem-se fazer testes na obra, por ocasião da elaboração do traço a ser utilizado, buscando reduzir ao máximo a quantidade de água utilizada na sua composição, sem comprometimento da sua trabalhabilidade, não podendo a argamassa projetada escorrer no painel, mas ter consistência para ser projetada. Por esta razão, é importante o uso de aditivos plastificantes e que sejam efetuados testes com os agregados disponíveis no local de execução.

Quanto à projeção dos revestimentos, no painel, deve-se ter especial atenção. Ela deverá ocorrer sequencialmente em faces opostas evitando uma possível deformação provocada por um carregamento diferencial.

É de fundamental importância no processo, também, a cura dos revestimentos projetados. Uma cura correta consiste em permitir que ocorra a hidratação do cimento, evitando uma evaporação prematura da água livre. Para isto, é importante manter a umidade superficial, com a irrigação constante das superfícies aplicadas, por período de 24 horas da sua aplicação, minimizando assim, a formação de fissuras de retração, que podem ocorrer no revestimento aplicado.

O valor de resistência à compressão, que se deve obter com a aplicação das recomendações anteriores, é na ordem de 35 MPa, lembrando que esse valor, se deve, também, ao processo de projeção pneumático recomendado, o qual imprime uma compactação do revestimento à superfície de uma forma constante.

3.5 DETALHES CONSTRUTIVOS

Os detalhes construtivos e de armadura, são de fundamental importância para que se passe aos executores, os conhecimentos mínimos necessários para a perfeita execução do processo e construção, pois, eles irão garantir, desde as fundações e ao longo do processo construtivo, a ancoragem, entre os elementos constituintes do processo, como a interligação, entre os painéis, como a sua união com outros elementos, como o caso das esquadrias. As figuras 3.35 até 3.49 demonstram estes detalhes construtivos. As ancoragens, nas fundações, poderão ocorrer, colocando-se as esperas alinhadas, em uma única face, de onde estará a parede, como demonstram as figuras 3.35 e 3.36, ou poderão estar posicionados de forma alternada, ocorrendo, assim, ancoragem nas duas faces dos painéis.

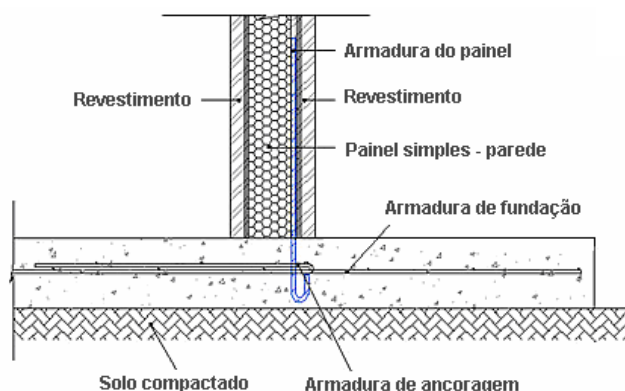


Figura 3.35 - Detalhe de ancoragem do painel a fundação – parede interna
Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos* (12/11/2006)

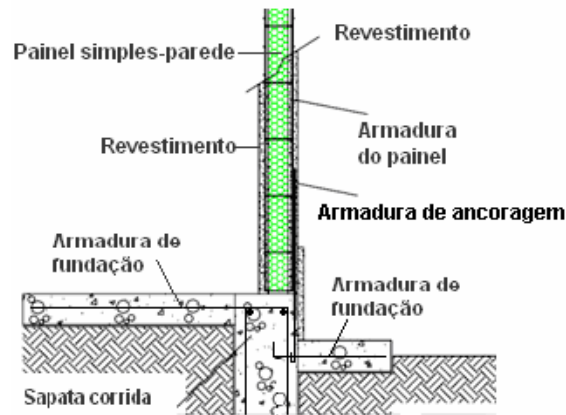


Figura 3.36 – Detalhe de ancoragem do painel a fundação – parede externa
 Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, *Detalles Constructivos*, (10/11/2006)

No encontro do painel parede com as lajes, como se vê na figura 3.37 e 3.38, é necessária à colocação de armaduras de reforço ao longo do seu encontro pelas faces inferior e superior da laje. Depois de executados os reforços de armadura, é feito seu escoramento; executa-se a concretagem sobre ela, sendo, posteriormente, revestidos com projeção a face inferior da laje e o painel parede.

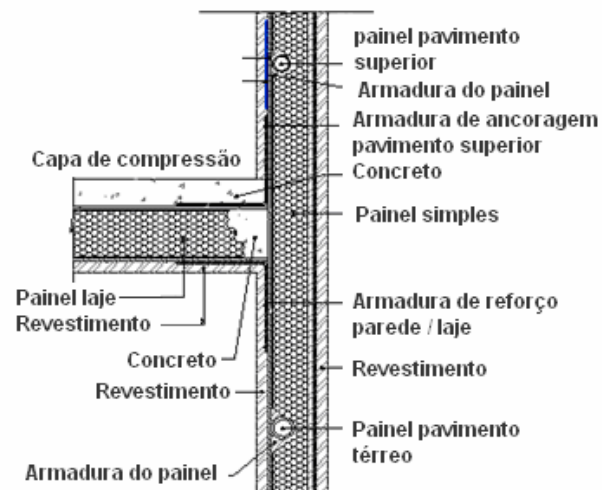


Figura 3.37 - Detalhe encontro painel parede e painel laje
 Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos* (12/11/2006)

Para as coberturas com lajes planas e inclinadas tem-se uma situação similar a anteriormente descrita; seus encontros devem receber malhas de reforço no encontro, entre os painéis, conforme demonstram as figuras 3.38 e 3.39.

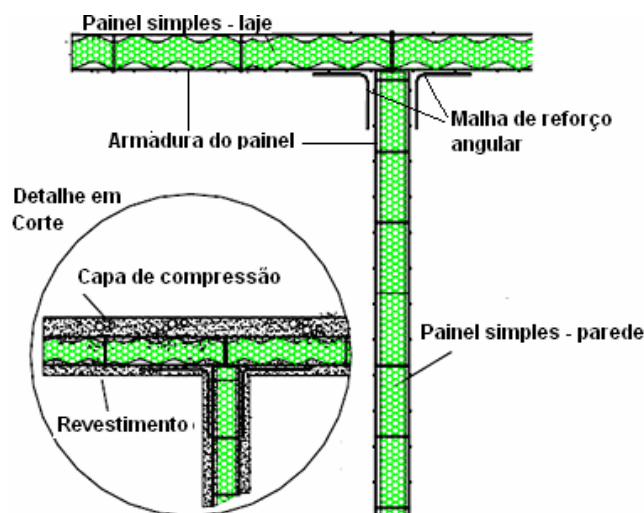


Figura 3.38 – Encontro de painel parede com painel laje – laje plana
 Fonte: CASSAFORMA, www.Cassaforma.com.ar, *Detalles Constructivos*, (10/11/2006)

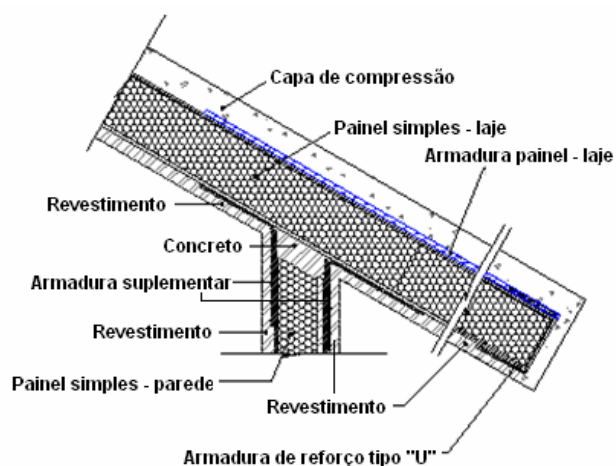


Figura 3.39 - Detalhe encontro painel parede e painel laje - cobertura inclinada
 Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos*, (12/11/2006)

O encontro entre os painéis pode ocorrer de várias formas, contínuos de topo, de canto, em forma de “L” e perpendicular, em forma de “T”. Na primeira situação ocorre um transpasse das telas dos próprios painéis, como demonstra a figura 3.40, em situações de encontro de canto, internamente, a própria tela do painel é suficiente para execução do transpasse, sendo necessário, somente externamente, a colocação de malhas auxiliares, figura 3.41. Em situação de encontro de painéis de topo, como se vê na figura 3.42, deve-se executar o reforço, em ambas as faces, aproveitando a existente de um lado do painel, adicionando como no caso anterior o do lado oposto.

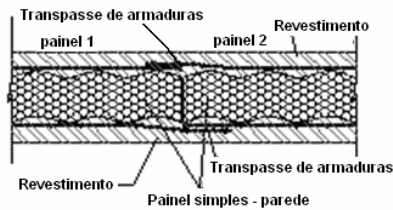


Figura 3.40 - Encontro de painéis paredes

Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos*, (12/11/2006)

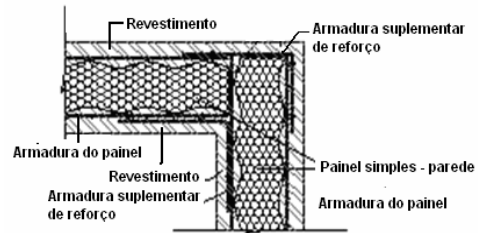


Figura 3.41 - Encontro de painéis parede de canto

Nos vãos, para a colocação de esquadrias, deve-se colocar, ao longo do perímetro exposto do painel, onde sofreu seu recorte, uma malha de reforço em forma de “U”, a qual irá dar continuidade à malha, entre as faces interna e externa, desta forma dando resistência aos vãos recebendo as esquadrias conforme se vê, nas figuras 3.43 a seguir.

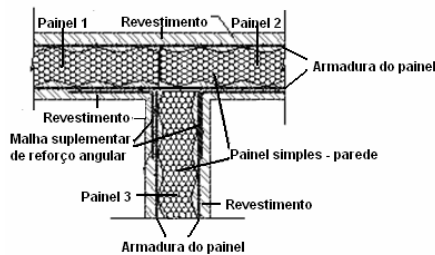


Figura 3.42 - Encontro de painéis parede em forma de “T”

Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos*, (12/11/2006)

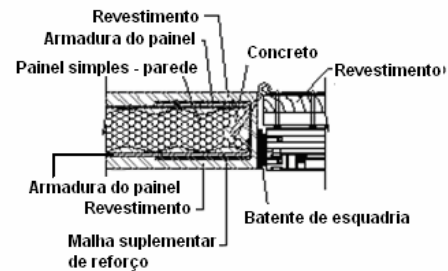


Figura 3.43 - Encontro do painel parede e esquadria

Da mesma forma que nos vãos de janelas, os de porta deverão ser reforçados com malhas de reforço, em forma de “U”, dando continuidade às telas das faces do painel, protegendo o núcleo de poliestireno e reforçando-o de forma a ter resistência para receber a esquadria, no vão, como demonstram os detalhes das figuras 3.44 a 3.46.

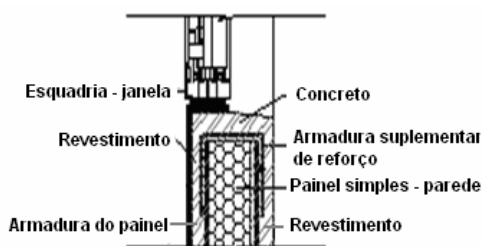


Figura 3.44 – Encontro do painel parede e esquadria – detalhe inferior

Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos*, (12/11/2006)

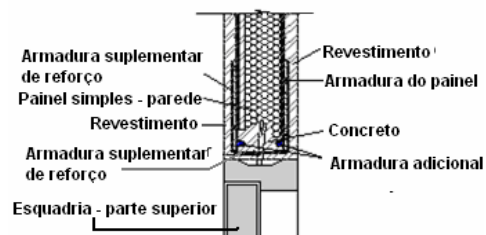


Figura 3.45 - União de painel parede e esquadria – detalhe superior

No encontro dos painéis com elementos estruturais de concreto armado, pilares e vigas, é necessária a execução de sua ancoragem, como se vê, nas figuras 3.47 a 3.49, pois, elas darão continuidade estrutural às telas existentes nas faces dos painéis e os outros elementos. A figura 3.47 é um detalhe, em planta, que mostra ancoragem de um painel parede com um pilar.

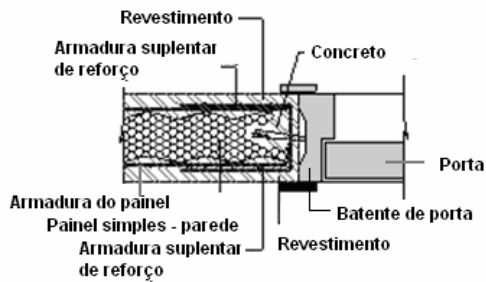


Figura 3.46 - União de painel parede e esquadria

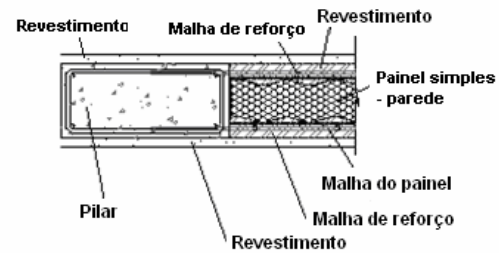


Figura 3.47 - União de painel parede com pilar

Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos*, (12/11/2006)

A figura 3.48 mostra, em corte, a ancoragem do painel parede, em uma viga e a figura 3.49, mostra os quatro lados do painel parede, ancorado nos pilares laterais, piso e viga de teto.

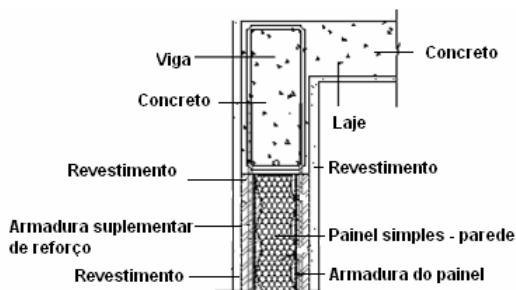


Figura 3.48 - União de painel parede com viga do pavimento superior – vista em corte

Fonte: FRIDULSA, www.fridulsa.com.uy, *Detalles Constructivos*, (12/11/2006)

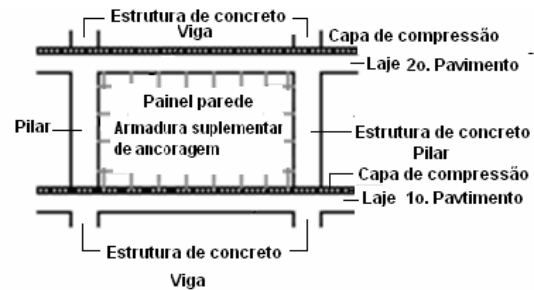


Figura 3.49 - União de parede de painéis com laje, pilares e viga – vista frontal

4. ANÁLISE DO DESEMPENHO HIGRO-TÉRMICO E ESTRUTURAL

Neste capítulo serão abordados os aspectos referentes ao desempenho térmico, o risco de condensação da vedação, verificação de seu comportamento estrutural, os conceitos de requisitos e critérios de desempenho.

Desempenho, segundo Mitidieri (1998), é um conjunto de características de um material, ou de um sistema construtivo, frente a um determinado uso. Os critérios de desempenho representam os aspectos quantitativos dos requisitos, determinados por valores numéricos. Os requisitos de desempenho representam os aspectos qualitativos, ou seja, quais características que um determinado produto deve apresentar em determinadas condições. O projeto de norma de desempenho de edifícios habitacionais de, até 5 pavimentos – 02:136.01.001, destaca que os requisitos são: “Condições qualitativas que devem ser cumpridas (...), a fim de que sejam satisfeitas as condições dos usuários, durante a vida útil de projeto” (ABNT, 2001. p. 5). Ciria (1992) divide os requisitos em dois grupos: a) condições exigidas internamente ao edifício, caracterizadas por ventilação, perda de calor, segurança, entre outros e b) condições impostas por agentes naturais, como, por exemplo: temperatura do ar; chuva; radiação solar; barulho e vibração; fogo e sujidades. Este projeto de norma define critério, como sendo: “Conjunto de especificações e procedimentos que visam representar tecnicamente as exigências do usuário”.

Os elementos construtivos costumam apresentar perdas de seus requisitos e critérios de desempenhos iniciais, que podem ser minimizadas através de intervenções preventivas ou corretivas, contribuindo para uma retomada do desempenho das partes ou da edificação como um todo, como mostra a figura 4.1. No caso de vedações verticais, estas intervenções buscam

manter o desempenho próximo às condições previstas em projeto, sem prejuízos aos aspectos da composição arquitetônica, da funcionalidade do edifício e do conforto dos usuários durante a sua vida útil. A edificação pode apresentar, ainda, uma vida útil residual, desde que estas perdas não provoquem riscos à segurança dos usuários.

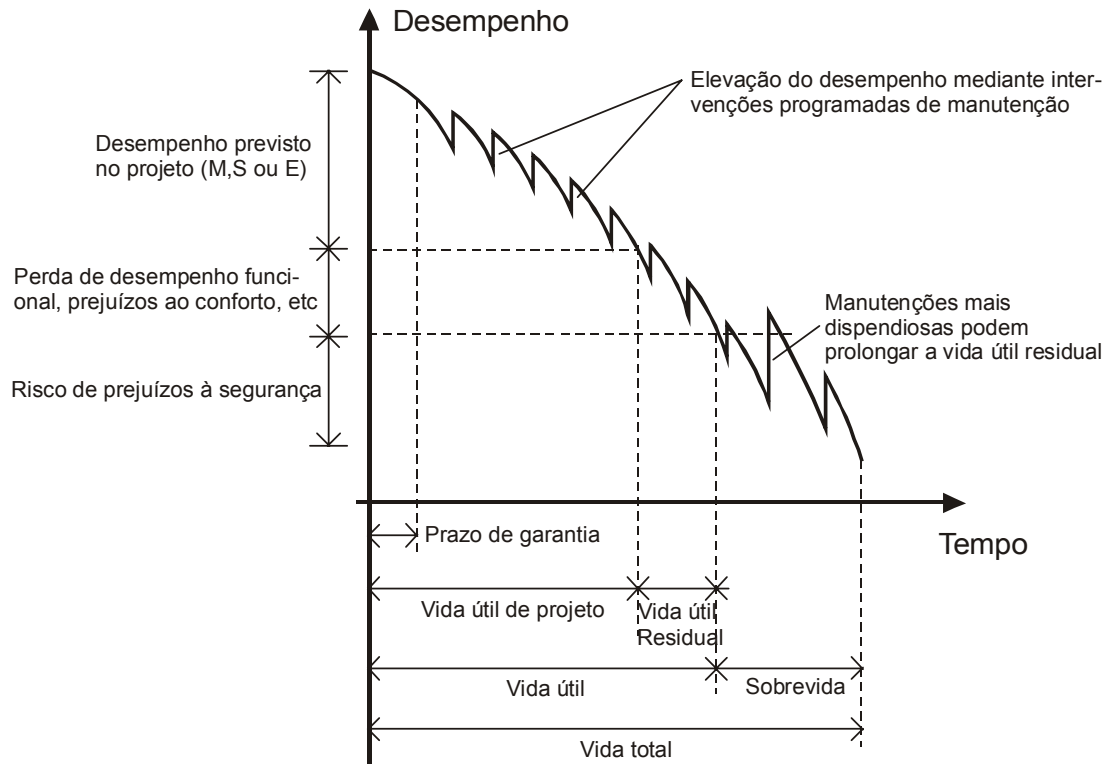


Figura 4.1 – Perdas de desempenho na vida útil da edificação
 Fonte: Projeto de norma brasileira Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos (Parte 1, 2001).

A edificação pode ter uma sobrevida desde que haja uma intervenção capaz de recuperar as condições de desempenho, melhorando as condições de segurança dos usuários.

4.1 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico de uma edificação, é função do desempenho térmico das partes que compõem a envolvente, vedações e cobertura. Da mesma forma, o isolamento térmico das vedações de uma edificação é obtido pela média ponderada das resistências térmicas dos componentes que, a formam: paredes opacas, esquadrias translúcidas, transparentes e cobertura.

O desempenho térmico da vedação e de sua cobertura é função da transferência de calor entre os ambientes interno e externo. O estabelecimento de requisitos e critérios de desempenho térmico para uma vedação a ser projetada possibilita adequá-la às condições climáticas locais, a fim de proporcionar conforto aos usuários e diminuir gastos energéticos para aquecimento e resfriamento.

Junto com a transferência de calor, costuma ocorrer transferência de vapor de água, entre os diferentes ambientes. O vapor de água pode condensar, podendo ocorrer condensações superficiais ou intersticiais. A condensação superficial, acontecendo na superfície do elemento de vedação, ocorrendo, quando a temperatura superficial for inferior, ou igual, à temperatura de orvalho (ponto de orvalho – temperatura a qual uma amostra de ar úmido chega a saturar-se e começa a condensação). A condensação intersticial aparece na massa interior de um elemento de vedação, ocorrendo quando o vapor de água que o atravessa alcança a pressão de saturação em algum ponto em seu interior. As condensações podem criar condições favoráveis à proliferação de microrganismos, nas superfícies internas e externas e no interior das vedações. A análise dos riscos de condensação tem a função de prevenir estas manifestações patológicas. O desempenho térmico da vedação pode ser determinado através dos métodos de cálculos, válidos, tanto para as paredes, como para as coberturas.

4.1.1 Conforto térmico

De acordo com Lamberts e Guisi (2000), “conforto térmico é o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”.

A Norma NBR 15220 – Desempenho térmico das edificações, aprovada no ano de 2005, busca garantir o desempenho da edificação, através dos elementos construtivos, apresenta métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade, do atraso térmico e do fator solar de elementos e

componentes da edificação. Ela estabelece oito zonas bioclimáticas² para o Brasil, conforme mostrado, na figura 8.1 do anexo e também, apresenta um conjunto de recomendações e estratégias construtivas buscando uma adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos. Ela procura garantir as condições de conforto nas edificações, estabelecendo diretrizes construtivas, relativa a aberturas, paredes, coberturas e estratégias de condicionamento térmico passivo para cada zona bioclimática. Dentre as diretrizes construtivas temos: as aberturas para ventilação - podendo ser pequena, média ou grande, com as áreas das aberturas efetivas dadas em porcentagem da área do piso dos ambientes com uso de longa duração; o sombreamento ou não destas aberturas, no verão e no inverno; e os tipos de vedações externas que devem ser utilizadas - Paredes leves, leves refletoras ou pesadas e Cobertura leve isolada, leve refletora e pesada. Dentre as estratégias de condicionamento térmico passivo, para situações de verão e inverno estão: ventilação cruzada e aquecimento solar para edificações localizadas em regiões menos quentes; resfriamento evaporativo e ventilação seletiva para edificações localizadas em regiões mais quentes. Esta mesma norma fornece valores máximos indicativos de transmitância térmica para os elementos de vedação, conforme o tipo de parede e cobertura como mostra a tabela 4.1. No entanto, a NBR 15220 não estabelece nenhuma característica que diferencie as vedações leves das leves refletoras e das pesadas.

Tabela 4.1 – Transmitâncias térmicas máximas admissíveis das vedações - NBR 15220.

Vedações externas	Paredes			Coberturas		
Tipo de vedação	Leve	Leve refletora	Pesada	Leve isolada	Leve refletora	Pesada
Transmitância térmica W/m ² K	3,00	3,60	2,20	2,00	2,30	2,00

A norma brasileira busca garantir o desempenho da edificação, através das transmitâncias térmicas dos elementos construtivos, sem permitir uma compensação entre os desempenhos das diferentes partes da edificação, não estabelece exigências quanto à transmitância térmica global da edificação.

Transmitância ou coeficiente de transmissão térmica é o parâmetro, que permite caracterizar os elementos construtivos, com referência a sua

² Esta norma define zona bioclimática como sendo “região geográfica homogênea quanto aos fatores climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”.

capacidade de transmitir calor (grau de isolamento). Coeficiente de transmissão térmico muito baixo indica isolamento elevado. Define-se fator solar como a relação entre o fluxo de calor transmitido por um elemento construtivo devido à radiação solar e a própria radiação solar incidente.

Para determinação do desempenho térmico adotou-se, também, a norma espanhola, por apresentar uma zona climática similar de onde se encontram os estudos de caso e por possibilitar a avaliação do desempenho térmico global da edificação e a verificação dos riscos de condensações que a norma brasileira não contempla. Ela considera também, as perdas de calor pelas lajes em contato com o solo e permite calcular o coeficiente térmico global da edificação através de um cálculo simplificado detalhado no item 4.2.

Para os cálculos do desempenho térmico foram utilizados valores máximos de transmitância térmica da norma espanhola NBE-CT-79, que são mostrados na tabela 4.2 e os mapas com as zonas climáticas que são apresentadas, nas figuras 8.2 e 8.3, do anexo. As duas normas, a brasileira e a espanhola, tratam da verificação do desempenho térmico das edificações, porém, a norma espanhola é mais rigorosa, quanto aos valores máximos permitidos para o fluxo de calor. Ela ainda faz distinção, entre vedações leves e vedações pesadas, sendo as vedações leves, as que possuem, até 200 Kg/m² e vedações pesadas, as que estão acima deste valor. A transmitância térmica máxima admitida para as vedações leves, é menor que a equivalente para as paredes pesadas, pois, as vedações leves apresentam menor capacidade térmica, devido à sua reduzida massa.

Tabela 4.2 – Valores máximos de transmitância térmica admissíveis para as vedações, em (W/m²K)

Retirados da NBE-CT-79

Tipo de fechamento	Zona climática			
	V e W	X	Y	Z
Coberturas	1,40	1,20	0,90	0,70
Fachadas leves	1,20	1,20	1,20	1,20
Fachadas pesadas	1,80	1,60	1,40	1,40
Lajes sobre espaço aberto	1,00	0,90	0,80	0,70

As fachadas estão em constante troca de calor e umidade com o ambiente externo. Entre os fatores, que determinam as temperaturas externas, de certa localidade, estão à latitude e a altitude. Em um exemplo comparativo

do cálculo do desempenho térmico das vedações, através das normas brasileira e espanhola, adotaram-se duas zonas climáticas similares: Florianópolis (27°30') região litorânea sul do Brasil (zona bioclimática 3) e Santa Cruz de Tenerife (28°50') pertencente à Espanha, uma ilha localizada, no oceano Atlântico (zona climática V para vedação e zona A para transmitância térmica global). A tabela 4.3 mostra as transmitâncias térmicas máximas admissíveis, segundo ambas às normas.

Tabela 4.3 – Comparação entre as transmitâncias térmicas das normas.

Norma		Zona climática	Transmitância térmica (W/m ² K)	Zona climática	Transmitância térmica global (W/m ² K)
NBR 15220	vedação leve refletora	3	$U \leq 3,60$	-	-
NBE-CT-79	vedação leve	V e W	$U \leq 1,20$	A	1,40 – 2,45*
	vedação pesada	V e W	$U \leq 1,80$	A	

Nota: *Os valores da transmitância global variam em função do fator de forma ($f = S / V$) e da zona climática, e o tipo de energia utilizada para aquecimento. Valores limites com f de 0,25 e 1,00 m-1.

Com a demanda, cada vez maior de energia gasta, nas habitações com equipamentos de aquecimento e resfriamento, a massa térmica dos elementos de vedação poderá contribuir no desempenho térmico da envoltória, proporcionando aos ambientes internos temperaturas de conforto, porém, dependendo de sua aplicação, seus efeitos poderão ser contrários, gerando desconfortos e até maiores consumos de energia. A massa térmica, só é eficiente em regiões com grande amplitude térmica e média próximas à temperatura de conforto.

Segundo Rogers (1964) a importância do cuidado nas condições de projeto e conhecimento de sua ocupação, exemplifica a utilização de uma parede de maior massa voltada para o sul (hemisfério norte), e o seu período de ocupação, em salas de aula ou escritório, até o final da tarde, onde o pico da carga de calor, devido ao retardamento térmico de sua penetração, dar-se-á somente à noite, fato este, que poderá até dispensar a utilização do ar condicionado durante o dia. Tal critério pode se transformar em um equívoco, quando utilizado em edifícios de apartamentos, hotéis ou quartos de hospital, onde a ocupação se estende por 24 horas. É um aspecto que pode originar um efeito prejudicial, principalmente se num projeto onde a situação do dormitório for orientada para oeste e possuir parede de massa pesada.

Assim, as vedações com painéis compostos por núcleo de poliestireno e revestimento argamassados de 6 a 8 cm, classificadas pela norma espanhola como leves, por suas características, contribuem para uma melhor eficiência na climatização dos ambientes com eles construídos.

4.1.2 Variações dimensionais dos elementos de vedação

Os elementos componentes das vedações - fachadas e coberturas têm como uma de suas funções, atenuar as variações de temperatura, no interior dos edifícios. As características de absorção térmica, radiação e transmissão de calor, nos materiais constituintes, determinam os gradientes de temperatura, que se produzem, nos elementos das vedações.

A temperatura do ar sofre variações cíclicas durante, o dia e também, com as estações do ano. A radiação solar é o principal fator, que determina este comportamento. No entanto, existem outros fatores, que influenciam, nas temperaturas, como, o coeficiente de absorção da superfície receptora, a condutividade e a capacidade térmica do solo, que determinam a transmissão de calor, por condução e as perdas por evaporação, convecção e radiação. Ainda que existam grandes variações, durante o dia, as temperaturas médias máximas e as temperaturas médias mínimas, podem servir para o cálculo do consumo médio de energia do edifício. No entanto, para avaliar o efeito das variações de temperatura, nas fachadas, deve-se considerar a probabilidade do alcance das temperaturas máximas e mínimas absolutas.

Os elementos de vedação encontram-se expostos a essas variações extremas da temperatura do ar e a radiação solar incidente, podendo vir a elevar, ainda mais, as temperaturas superficiais dos elementos de vedação. A distribuição da energia solar é função da amplitude da onda incidente, tendo-se amplitudes térmicas maiores, em climas secos. A magnitude dos efeitos da radiação solar, se deve à absorção térmica e à emitância de energia por parte dos materiais, que recebem o calor. Assim, parte da energia absorvida é irradiada pelos materiais, produzindo a troca de calor, entre os materiais, que constituem a vedação e o ar. Isto produz gradientes de temperatura, nas vedações, que variam, ao longo do tempo, em função da radiação solar e das temperaturas do ar interior e exterior. A amplitude das temperaturas superficiais é obtida pela ação combinada da energia solar incidente e das variações de

temperatura do ar exterior, (ASTM 1193, 2005).

O coeficiente de absorção térmica de uma superfície, é função da cor, da tonalidade e das características do material. As superfícies claras e polidas apresentam valores mais baixos, que as superfícies mais escuras e foscas. A NBR 11520 apresenta valores de coeficiente de absorção “ α ” para vários tipos de superfície e pinturas dependendo da cor variando de 0,2 (branco) a 0,97 (preto). O desempenho térmico das vedações, além do tipo de vedação, sua composição e forma, entre outros, recebem influência de sua localização, zona bioclimática e temperaturas.

4.1.3 Análise do desempenho térmico das vedações

Para o cálculo do desempenho térmico de uma vedação, conhecendo-se sua localização, tomam-se as fachadas da edificação, na análise. Estas fachadas, por ser, geralmente, compostas por materiais diferentes, ou seja, heterogêneas, devem ter as resistências térmicas, transmitâncias e as capacidades térmicas calculadas para as diferentes seções das vedações. Deve-se conhecer a área de contribuição dos diferentes materiais, que compõem a vedação, a fim de se elaborar uma ponderação entre as partes, para a determinação da resistência térmica da parede.

Resistência térmica – Analisando as vedações, sua composição, tipos de materiais e espessuras, para a determinação da resistência térmica de superfície, a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, calculam-se a resistência térmica nas diferentes seções “a” até “n”, dos diferentes elementos de vedação. As seções, a serem calculadas, correspondem às diversas seções transversais dos diferentes elementos constituintes da vedação da edificação. A espessura das camadas, é dada em metros e a condutividade térmica do material é dada em (W/mK). Sendo a área para paredes retangulares:

$A_n = \text{base} \times \text{altura}$ (m²), a resistência térmica será calculada por:

$$R_{a...n} = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Sendo “a” até “n” elementos de vedação, cada um composto por camadas de “1”, até “n” obtendo-se assim “Ra” até “Rn”.

Desta forma a resistência térmica da vedação é obtida pela ponderação entre as resistências térmicas das seções características calculadas, anteriormente, e suas áreas correspondentes.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

O valor determinado, anteriormente, corresponde à resistência térmica das camadas que compõem a vedação, sem contar com as resistências térmicas superficiais, (interna e externa), do ar.

Resistência térmica total da vedação de ambiente a ambiente - Existe uma pequena variação da resistência superficial do ar pelo projeto da NBR 15220 $R_{si} = 0,13(\text{m}^2\text{K)/W}$ e a correspondente da norma espanhola $1/h_i = 0,11 (\text{m}^2\text{K)/W}$. De forma análoga, as resistências superficiais externas são $R_{se} = 0,04(\text{m}^2\text{K)/W}$ pela norma brasileira e $1/h_e = 0,06(\text{m}^2\text{K)/W}$ pela norma espanhola. Na consideração das resistências de ambiente a ambiente, o somatório das resistências superficiais, em vedações verticais, é igual nas duas normas, portanto, a resistência térmica é:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (\text{m}^2\text{K)/W}$$

A partir da resistência térmica, pode-se determinar a transmitância térmica para se saber, se esta vedação satisfaz, ou não, as normas de desempenho térmico.

Transmitância térmica - A transmitância térmica é o fluxo de calor incidente, que passa por uma vedação, em um metro quadrado desta, quando se aumenta um grau a temperatura.

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Este valor deve estar abaixo do estabelecido para sua zona bioclimática, segundo as normas NBR-15220 e NBE-CT-79. Na tabela 4.3, estão listados os valores das transmitâncias máximas admissíveis, por ambas as normas. A

norma brasileira admite transmitância para vedações leves $\leq 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ e a norma espanhola admite $\leq 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ para vedações pesadas. O valor encontrado para a transmitância térmica deverá satisfazer as normas.

Capacidade térmica da parede – Como, normalmente, as vedações são compostas, faz-se então, necessário, o cálculo da capacidade térmica para as diferentes seções transversais. Os valores limites, para a capacidade térmica de vedações, podem ser encontrados no Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de, até 5 pavimentos – parte 4: fachadas, conforme mostrado na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores mínimos de capacidade térmica para vedações

Projeto de Norma Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos

Nível de desempenho mínimo	Capacidade térmica (CT, em kJ/(m ² .K))	
	Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
	≥ 45	≥ 130

A capacidade térmica de uma vedação heterogênea, é determinada, a partir da capacidade térmica das diferentes seções, que a compõe. Desta maneira, o cálculo da capacidade térmica apresentado, pela norma brasileira, é similar ao de resistência térmica, e é apresentado a seguir:

Seção nn (elementos constituintes do elemento de vedação):

Área para superfícies regulares: $A_n = \text{base} \times \text{altura} \text{ (m}^2\text{)}$;

Capacidade térmica:

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Desta forma, a capacidade térmica da parede heterogênea, pode ser obtida, pela ponderação das capacidades térmicas e correspondentes áreas das seções calculadas, anteriormente:

$$C_T = \frac{A_a + 3xA_b + 2xA_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{3xA_b}{C_{Tb}} + \frac{2xA_c}{C_{Tc}}} = \text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$$

O valor de C_T deverá satisfazer o projeto de norma para a zona bioclimática,

onde está localizada a edificação.

Atraso térmico - O atraso térmico é o período correspondente, entre a defasagem das amplitudes de temperaturas interna e externa de uma edificação, em horas. Em vedações homogêneas, pode ser determinado pela seguinte expressão apresentada pela NBR 15220:

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} \text{ (horas)}$$

Nas vedações compostas, com câmara de ar interna, a camada exterior é determinante no desempenho térmico das camadas internas, conforme pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \text{ (horas)}$$

Onde B_0 , B_1 e B_2 são determinados pelas seguintes expressões:

$$B_0 = CT - CT_{\text{ext}}$$

Onde CT é a capacidade térmica total do componente e CT_{ext} a capacidade térmica da camada externa do componente, ou seja, localizada junto a face externa.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

Quando se tem valores negativos de B_2 este é desconsiderado, fazendo com que o atraso térmico seja dado por:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1} \text{ (horas)}$$

Quando o valor determinado não satisfaz o projeto de norma para determinada zona bioclimática, pois ela fixa valor máximo de atraso térmico, em X horas, uma alternativa para que o atraso térmico da vedação satisfaça a norma, é a incorporação de um núcleo isolante, pois, o atraso térmico é função

da resistência e da capacidade térmica. Quanto maior for a resistência térmica e menor for a sua capacidade térmica, menor será o atraso térmico.

4.1.4. Análise do desempenho térmico das vedações nos estudos de caso

Florianópolis encontra-se na zona bioclimática 3, e para esta zona recomenda-se coberturas leves e isoladas com transmitância térmica inferior a $2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, atraso térmico menor que 3,3 horas e fator de calor solar inferior a 6,5%. Para as paredes externas, a norma recomenda que as mesmas sejam leves refletoras, com transmitância térmica inferior ou igual a $3,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas e fator de calor solar inferior ou igual a 4,0%.

4.1.4.1. Estudo de caso 1:

Para o cálculo do desempenho térmico da vedação do estudo de caso 1, Residência Jurerê, que está localizado, em Jurerê Internacional, na cidade de Florianópolis, em Santa Catarina, serão analisadas as paredes, por ser padrão na vedação da edificação, assim, devem ter as resistências, transmitâncias e as capacidades térmicas calculadas. A parede que é composta por painéis formados por núcleo de poliestireno expandido com espessura de 100 mm reforçados por telas de aço e revestidos por argamassa, em camadas de 40 mm por face. As dimensões dos painéis são 1000 mm de base, por 2600 mm de altura.

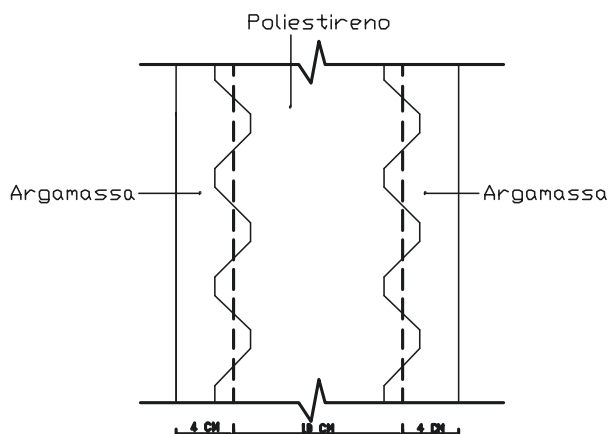


Figura 4.2 – Parede analisada do estudo de caso 1

Resistência Térmica:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Onde:

$$R_t = R_{arg} + R_{eps} + R_{arg} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Sendo:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W} ; R_{si} = 0,13 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W} \text{ e } R_{se} = 0,04 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

$$R_t = \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} + \frac{e_{eps}}{\lambda_{eps}} + \frac{e_{arg}}{\lambda_{arg}} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

$$R_t = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,10}{0,04} + \frac{0,04}{1,15} = 2,57 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Então a Resistência Total:

$$R_T = 0,13 + 2,57 + 0,04 = 2,74 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Transmitância Térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$U = \frac{1}{2,74} = 0,36 \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Capacidade térmica da parede:

Pela Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais, de até 5 pavimentos – parte 4, para a zona bioclimática 3, onde está localizado o estudo de caso, as fachadas devem apresentar nível de desempenho, quanto a capacidade térmica, igual ou superiores a 130 kJ/(m².K).

Verificação:

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^5 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{Tparede} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{arg} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{eps} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{arg} \quad \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{Tparede} = (0,04 \cdot 1,0 \cdot 2000)_{arg} + (0,10 \cdot 1,42 \cdot 15)_{eps} + (0,04 \cdot 1,0 \cdot 2000)_{arg} \quad \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{Tparede} = (80)_{arg} + (2,13)_{eps} + (80)_{arg} = 162,13 \quad \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Satisfazendo a Norma})$$

Atraso térmico – “ φ ”

Como as vedações são compostas, então:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{horas})$$

Onde

$$R_t = 2,57 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_0 = C_{\text{Tparede}} - (\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{arg}}$$

Então:

$$B_0 = 162,13 - (0,04 \cdot 1,0 \cdot 2000)$$

$$B_0 = 162,13 - 80 = 82,13$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{82,13}{2,57} = 7,22$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1,0)_{\text{ext}}}{2,57} \right) \cdot \left(0,035 - \frac{2,57 - 0,035}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot (894,94) \cdot (-0,2187)$$

$$B_2 = -40,13 \quad (\text{valor negativo, desprezar valor})$$

Assim,

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{horas})$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 2,57 \cdot \sqrt{7,22} = 9,54 \quad (\text{horas}) \quad (\text{Apresenta isolamento maior})$$

Fator Solar – FS

$$FS = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Para parede branca, $\alpha = 0,2$

$$FS = 4 \cdot 0,365 \cdot 0,2 = 0,29\% \quad (\text{Satisfazendo a Norma})$$

De acordo com a NBR 15220, os tipos de vedações externas - paredes, para a zona bioclimática 3, onde está localizado o estudo de caso, recomenda o uso de parede leve refletora. Os resultados obtidos quanto a Transmitância

Térmica e ao Fator Solar satisfazem as exigências normativas. Quanto ao Atraso Térmico, apresentou um atraso superior a 122% ao valor limite recomendado, assim, tendo a parede propriedades isolantes, sendo mais eficiente sob este aspecto.

4.1.4.2. Estudo de caso 2:

Para o cálculo do desempenho térmico da vedação do estudo de caso 2, Residência Pantanal, que está localizado na cidade de Florianópolis, Pantanal, em Santa Catarina, será analisada a parede, por ser, também, padrão na vedação da edificação, assim, deve ter as resistências, transmitâncias e as capacidades térmicas calculadas. A parede que é composta por painéis formados por núcleo de poliestireno expandido, com espessura de 50 mm reforçados por telas de aço e revestidos por argamassa em camadas de 40 mm por face. As dimensões dos painéis são 1000 mm de base por 2600 mm de altura.

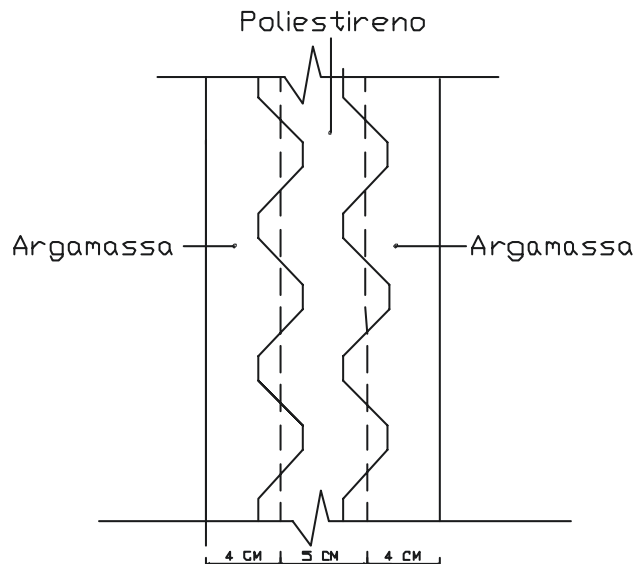


Figura 4.3 – Parede analisada do estudo de caso 2

Resistência Térmica:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

Onde:

$$R_t = R_{\text{arg}} + R_{\text{eps}} + R_{\text{arg}} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Sendo:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W} ; R_{\text{si}} = 0,13 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W} \quad \text{e} \quad R_{\text{se}} = 0,04 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

$$R_t = \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} + \frac{e_{\text{eps}}}{\lambda_{\text{eps}}} + \frac{e_{\text{arg}}}{\lambda_{\text{arg}}} \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

$$R_t = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,04}{1,15} = 1,32 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Então a resistência térmica total:

$$R_T = 0,13 + 1,32 + 0,04 = 1,49 \quad (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Transmitância Térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$U = \frac{1}{1,49} = 0,67 \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Capacidade térmica da parede:

Pelo Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de, até 5 pavimentos – parte 4, para a zona bioclimática 3, onde está localizado o estudo de caso, as fachadas devem apresentar nível de desempenho, quanto a capacidade térmica, igual ou superior a 130 kJ/(m².K).

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^5 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{Tparede} = (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{arg}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{eps}} + (e_i \cdot c_i \cdot \rho_i)_{\text{arg}} \quad \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{Tparede} = (0,04 \cdot 1,0 \cdot 2000)_{\text{arg}} + (0,05 \cdot 1,42 \cdot 15)_{\text{eps}} + (0,04 \cdot 1,0 \cdot 2000)_{\text{arg}} \quad \text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{Tparede} = (80)_{\text{arg}} + (1,065)_{\text{eps}} + (80)_{\text{arg}} = 161,06 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Satisfazendo a Norma})$$

Atraso térmico – “ φ ”

Como as vedações são compostas, então:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{horas})$$

Onde:

$$R_t = 1,49 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

e

$$B_0 = C_{T_{\text{paredes}}} - (\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{arg}}$$

Então:

$$B_0 = 161,065 - (0,04 \cdot 1,0 \cdot 2000)$$

$$B_0 = 161,065 - 80 = 81,065$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{81,065}{1,49} = 12,14$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1,0)_{\text{ext}}}{1,49} \right) \cdot \left(0,0347 - \frac{1,49 - 0,0347}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot (1543,62) \cdot (-0,11083)$$

$$B_2 = -35,07 \text{ (desprezar valor)}$$

Assim,

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1} \text{ (horas)}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 1,49 \cdot \sqrt{12,14} = 7,17 \text{ (horas)} \quad \text{(Apresenta isolamento maior)}$$

Fator Solar – FS

$$FS = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Para parede branca, $\alpha = 0,2$

$$FS = 4 \cdot 0,67 \cdot 0,2 = 0,54\% \quad \text{(Satisfazendo a Norma)}$$

De acordo com a NBR 15220, os tipos de vedações externas - paredes, para a zona bioclimática 3, onde está localizado o estudo de caso 2, recomenda o uso de parede leve refletora. Os resultados obtidos, quanto a Transmitância e ao Fator Solar, satisfazem as exigências normativas. Quanto

ao Atraso Térmico, vindo a apresentar um atraso superior a 66,7% ao valor limite recomendado, tendo a parede propriedades isolantes, sendo assim, mais eficiente sob este aspecto.

4.2 CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA GLOBAL

A análise da transmitância térmica global “ U_G ” possibilita aumentar a eficiência energética de uma edificação, pois, tem como objetivo buscar um equilíbrio das transmitâncias dos diversos componentes de vedação, a fim de limitar os ganhos e perdas de calor, buscando reduzir os gastos energéticos, na edificação. A análise “ U_G ” é de fundamental importância, pois, até então, as normas da isolação de calor tratavam de forma individual os elementos de vedação dos edifícios (tetos, paredes e pisos) fornecendo as exigências relativas, que devessem ser satisfeitas por eles para garantir condições de bem estar, nos ambientes internos, assim como, evitar as condensações nesses elementos.

Como a norma brasileira NBR-15220, não apresenta um modelo de cálculo para determinação da transmitância térmica global “ U_G ”, recomenda-se a adoção da norma espanhola NBE-CT-79 que apresenta uma forma de cálculo para o coeficiente de transmissão térmica global, ou transmitância térmica global “ U_G ” além de apresentar valores limites de “ U_G ” para a edificação, determinados em função do fator de forma do edifício, da zona climática, onde está localizado e levando em consideração o consumo da energia necessária para a realização dos níveis do conforto térmico, como também, o tipo de energia aplicada no sistema de aquecimento da edificação. A referida norma, faz distinção, entre as vedações verticais, coberturas e pisos, atribuindo coeficientes de correção para cada tipo. As vedações são, ainda, subdivididas, entre fechamentos em contato com o exterior e em contato com outros edifícios, considerando ainda, se os ambientes possuem aquecimento ou não. No caso de edifícios, que tenham locais cujo fechamento exterior não se pode fixar em projeto, como, por exemplo, em locais comerciais cuja fachada não está, inicialmente, definida, estes locais, exteriores do edifício, são considerados, para efeitos de cálculo do coeficiente “ U_G ”, como locais não aquecidos. Para o cálculo, o projetista soma as áreas de paredes, esquadrias,

coberturas e pisos, atribuindo, para estes valores, coeficientes de minoração das transmitâncias térmicas dependendo do tipo de fechamento. A equação a seguir, mostra a resolução do “U_G”.

$$U_G = \frac{\Sigma A_V \times U_V + 0,8 \Sigma A_C \times U_C + 0,5 \Sigma A_P \times U_P}{\Sigma A_V + \Sigma A_C + \Sigma A_P},$$

onde:

- A_V é a área de vedação vertical
- A_C é a área de cobertura
- A_P é a área de piso
- U_V é a transmitância da vedação vertical
- U_C é a transmitância da cobertura
- U_P é a transmitância do piso

Em seguida, deve-se calcular o fator de forma “f” da edificação. Onde é calculada, pela relação entre a superfície “S” total da envolvente e o volume da edificação “V” .

$$f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}} = \frac{S}{V} \left(\frac{m^2}{m^3} \right)$$

Ao final, deve-se encontrar um valor de transmitância global “U_G”, que deverá ser inferior à transmitância térmica global máxima admissível “U_{GM}”, estabelecida pela norma. A norma espanhola estabelece valores de transmitância térmica global para os fatores de forma “f”, inferiores e igual 0,25, e superior e igual a 1,00, como demonstrados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Valores limites máximos de U_{GM}, em (W/m²K)
Extraídos da norma NBE-CT-79

Tipo de energia para calefação	Fator de forma <i>f</i>	Zona climática segundo o mapa 1 do anexo				
		A	B	C	D	E
Caso II: edifícios sem calefação	≤0,25	2,45	1,61	1,19	1,05	0,91
	≥1,00	1,40	0,92	0,68	0,80	0,52

Para os valores intermediários de fatores de forma “f” (superior a 0,25 e inferior a 1,0), a transmitância térmica global máxima “U_{GM}”, será calculada através da seguinte fórmula:

$$U_{GM} = a (3 + 1/f)$$

O coeficiente “a” é função da zona climática e do tipo de aquecimento adotado, cujos valores são vistos na tabela 4.6, conforme equivalência no mapa 1 da NBE-79.

Tabela 4.6 – Coeficiente a em (W/m²K) de acordo com zona climática e tipo de energia
Extraída da norma NBE-CT-79

Tipo de energia para aquecimento	Zona climática segundo o mapa 1 do anexo				
	A	B	C	D	E
Caso II: edifícios sem aquecimento	0,35	0,23	0,17	0,15	0,13

Observa-se, aqui, uma preocupação maior do edifício com a condição de inverno e uma tendência de critérios mais rigorosos para edifícios menos compactos, com fator de forma mais elevado.

4.2.1 Estudo de caso 1

Para o cálculo da transmitância térmica global tomam-se as envolturas do estudo de caso1. A edificação conta com uma área fechada de 68,22 m² no pavimento térreo e 74,14 m² no pavimento superior. A construção possui uma altura de 2,9m de pé-direito. O volume total da residência é de 412,85 m³. A tabela 4.7 mostra as áreas dos diferentes fechamentos das fachadas da edificação e a tabela 4.8 ilustra justificativa de cálculo da transmitância global “U_G” desta residência.

Tabela 4.7 – Somatório das áreas da residência do estudo de caso1.

Tipo de fechamento	Área de fachada (m ²)				Total (m ²)
	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Painel EPS argamassado – paredes externas	51,05	46,37	45,98	52,72	196,12
Esquadria de madeira + vidro comum de 3mm	8,52	10,04	10,64	10,72	39,92
Cobertura	78,45				78,45
Piso	142,36				142,36

Tabela 4.8 – Justificativa de cálculo da transmitância global U_G da residência do estudo de caso 1.
Tabela adaptada da NBE-CT-79.

Elemento construtivo		Área (m ²)	Coef. U (W/m ² K)	A x U (W/m ² K)	Coef. correção n	n . ΣA . U (W/m ² K)
Fechamentos em contato com o exterior	Painéis EPS argamassados	196,12	0,3	71,5	1	71,5
	Esquadrias	39,92	5,0*	199,6		199,6
Fechamento de cobertura	cobertura	74,14	2,3**	172,7	0,8	138,2
Fechamento com o terreno	Contrapiso	68,22	3,9**	266,7	0,5	133,3
Σ Total		378,40				542,7

Nota:

*O valor da transmitância térmica de esquadrias foi retirado da tabela 2.12 do anexo 2 da norma espanhola.

** Valor calculado conforme camadas e espessuras dos materiais constituintes da cobertura e do contrapiso estabelecidos no projeto.

$$\text{Fator de forma } f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}} = \frac{378,40}{412,85} = 0,91 \text{ m}^{-1}$$

Transmitância térmica da edificação será:

$$U_G = \frac{542,77}{378,40} = 1,4 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Com $a=0,35$, então U_{GM} :

$$U_{GM} = a (3 + 1/f) = 0,35 (3 + 1/0,91) = 1,4 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

O valor obtido da transmitância Global da edificação satisfaz a NBE-CT-79, pois, o valor não foi superior ao limite estabelecido pela norma.

4.2.2 Estudo de caso 2

Para o cálculo da transmitância térmica global tomam-se as envolturas do estudo de caso 2, considerando para análise as áreas fechadas, desconsiderando varandas. A edificação conta com uma área fechada de 69,32 m², no pavimento térreo e 22,17 m² no pavimento superior. A construção possui alturas variáveis de pé-direito. O volume total da residência é de 314,17 m³. A tabela 4.9 mostra as áreas dos diferentes fechamentos das fachadas da edificação e a tabela 4.10 ilustra justificativa de cálculo da transmitância global “ U_G ” desta residência.

Tabela 4.9 – Somatório das áreas da residência do estudo de caso2.

Tipo de fechamento	Área de fachada (m ²)				Total (m ²)
	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Painel EPS argamassado – paredes externas	30,20	25,39	40,60	42,48	138,67
Esquadria de pvc + vidro comum de 3mm	1,80	4,83	8,34	2,66	17,63
Cobertura	77,57				77,57
Piso	69,32				69,32

Tabela 4.10 – Justificativa de cálculo da transmitância global U_G da residência do estudo de caso2.
Tabela adaptada da NBE-CT-79.

Elemento construtivo		Área (m ²)	Coef. U (W/m ² K)	A x U (W/m ² K)	Coef. correção n	n . ΣA . U (W/m ² K)
Fechamentos em contato com o exterior	Painéis EPS argamassados	138,67	0,6	92,9	1	92,9
	Esquadrias	17,63	5,0*	88,1		88,1
Fechamento de cobertura	cobertura	77,57	2,1**	162,7	0,8	130,2
Fechamento com o terreno	Contrapiso	69,32	3,9**	271,0	0,5	135,5
Σ Total		303,19				446,7

Nota:

*O valor da transmitância térmica de esquadrias foi retirado da tabela 2.12 do anexo 2 da norma espanhola.

** Valor calculado conforme camadas e espessuras dos materiais constituintes da cobertura e do contrapiso estabelecidos no projeto.

$$\text{Fator de forma } f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}} = \frac{303,19}{314,17} = 0,96 \text{ m}^{-1}$$

Transmitância térmica da edificação será:

$$U_G = \frac{446,77}{303,19} = 1,47 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Tendo como limite de U_{GM}:

$$U_{GM} = a (3 + 1/f) = 0,35 (3 + 1/0,96) = 1,41 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Como o valor da transmitância global da edificação apresentou valor de 1,47 (W/m²K), superior valor limite de 1,41 (W/m²K) não satisfazendo as exigências normativas na NBE-CT-79, porém, em um valor muito próximo.

4.3 EFEITOS DA UMIDADE NAS VEDAÇÕES ARGAMASSADAS

Os materiais formados por matriz cimentícia apresentam poros interconectados, através dos quais, é possível o transporte de líquidos e gases,

figura 4.4. As moléculas, que formam as superfícies dos poros na matriz cimentícia, atraem as moléculas de vapor de água, devido às características de suas ligações químicas. A espessura da camada de água, que se forma, na superfície dos poros, depende do seu teor de umidade interior.

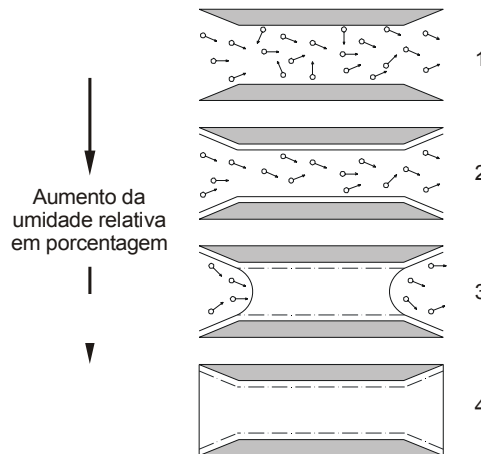


Figura 4.4 - Efeito de adsorção, difusão e condensação do vapor de água em função da umidade nos poros abertos. (Quenard e Sallee, 1992).

No modelo proposto por Quenard e Sallee são estabelecidas quatro fases:

(1) Monocamada de adsorção com difusão de vapor – Essa fase é resultado da interação entre as moléculas de vapor de água e a superfície dos poros do material.

(2) Multicamadas de adsorção com difusão de vapor e difusão superficial - As moléculas bipolares da água são atraídas pelas moléculas das superfícies dos poros, formando uma película de adsorção. O fluxo de umidade se realiza através do estado de vapor e através do fluxo superficial em estado líquido.

(3) Condensação / Evaporação - Nesta fase existe um equilíbrio dinâmico, onde ocorre a condensação, que é função da pressão de vapor de água e do diâmetro do poro e, também, a evaporação das partículas de água, que estão preenchendo, parcialmente, os vazios capilares.

(4) Saturação com fluxo em fase de condensação – os poros interconectados do material se encontram, totalmente, saturados. Nesta fase, é possível o transporte de sais e agentes poluentes.

4.3.1 Variações dimensionais dos elementos por variação de umidade

A umidade contida em um ambiente é função de fatores, que compõem o micro-clima de uma região, tais como: o regime de chuvas, ventos, tipo de vegetação, que podem variar durante o ano. A umidade do ar, também pode apresentar variações, durante as horas do dia, em função da radiação solar incidente, das temperaturas e das características do entorno. À medida que a temperatura do ar se eleva, aumenta sua capacidade de conter vapor de água. O conteúdo de vapor de água, é proporcional à pressão do vapor e das temperaturas, conforme pode ser observado, no ábaco psicrométrico, que é utilizado para se determinar a temperatura de bulbo seco (em °C), ou a umidade absoluta (em g/Kg de ar seco) ou ainda, a umidade relativa (em porcentagem), apresentado no anexo, figura 8.4.

Segundo Lamberts (2000), “o ar, a uma determinada temperatura, poderá armazenar, certa quantidade de vapor d’água, e à medida que esta temperatura aumenta, a capacidade de reter vapor, também aumenta. Quando atinge o valor máximo, diz-se, que o ar está saturado e atingiu-se a temperatura de orvalho”.

A condensação do vapor de água excedente, no ar é, que se depositam sobre as superfícies verticais e horizontais. A água que penetra nos vazios da matriz cimentícia, produz modificações dimensionais, na sua estrutura. A água, nos capilares, produz tensões internas responsáveis pela expansão da matriz cimentícia. Por outro lado, os elementos de vedação perdem água por evaporação e reduzem suas dimensões, quando expostos em ambientes secos.

Os elementos de vedação com matriz cimentícia, por ocasião de sua fabricação, em seus traços, geralmente são utilizadas quantidade de água superior ao necessário à hidratação do cimento. Esta água excedente tende a evaporar, durante a fase de cura da matriz, onde as reações exotérmicas elevam as temperaturas e aceleram o processo de evaporação. Esta perda de

água continua, durante a fase de endurecimento do concreto, se prolonga, até que, o teor de umidade em seu interior, esteja em equilíbrio com o ambiente externo (Barth, 1997). As variações dimensionais desses elementos, são de dois tipos em função da variação de umidade: a) retração inicial, que é irreversível e acontece durante a fase de cura do compósito e b) retração e expansão, reversíveis, que representam as perdas, ou ganhos dos conteúdos de água, em função das variações do teor de umidade do ambiente, em que se encontram.

4.3.2. Desempenho Higro-térmico - Riscos de condensações

As vedações com painéis argamassados, ou de concretos, são porosas e permeáveis à passagem de vapor de água. Como algumas construções podem estar, em regiões consideradas frias, existe a possibilidade de ocorrer condensações superficiais e intersticiais, nas vedações, em função dos diferenciais de temperatura interior e exterior nas situações de inverno.

Como a norma brasileira NBR 15220 não aborda o desempenho higro-térmico das vedações, recomenda-se a utilização do método de cálculo da norma espanhola NBE-CT-79 com os dados locais determinados pelo programa computacional, Analysis Bio.

Florianópolis, onde estão localizados os estudos de caso, apresenta temperatura mínima média de 13,3°C, no mês de julho. A norma espanhola estabelece para os ambientes internos, de acordo com a utilização, as temperaturas mínimas indicadas na tabela 4.11, a uma umidade relativa no interior, desses locais, não sendo superiores a 75%, com exceção, dos ambientes como cozinha e banheiros, onde, eventualmente, poderão chegar a 85%, e a umidade externa de 95%.

Tabela 4.11 – Temperatura do ambiente interior.

Norma NBE-CT-79

Edifício ou local	Temperatura mínima seca (°C)
Residências, ensino, comércio e cultura	18
Salas de aula, ginásios e trabalho leve	15
Locais para trabalho pesado	12
Locais para armazenamento em geral	10

A NBE-CT-79, considera como condições de uso para ambientes internos e externos, de acordo com a zona bioclimática, onde esta localizada. Uma baseada nos dados em graus/dia, com base de 15 em 15 dias. E também, nas temperaturas mínimas média do mês de janeiro. Considerando as temperaturas do terreno segundo a zonificação climática e a utilização para cálculos, uma umidade relativa exterior de 95%, conforme figura 8.3, do anexo, distribuídos, em cinco zonas climáticas distintas, conforme em anexo figura 8.2. De acordo com mapa de zonificação, por graus/dia ano, se tem os seguintes intervalos de valores:

- Zona A: \leq 400 graus/día anuais
 Zona B: 401 a 800 graus/día anuais
 Zona C: 801 a 1.300 graus/día anuais
 Zona D: 1.300 a 1.800 graus/día anuais
 Zona E: $>$ 1.800 graus/día anuais

As temperaturas são calculadas em função das diferenças de temperaturas interna e externa, e das resistências térmicas de cada camada de elemento que compõe a parede. A transferência do vapor de água é função da diferença de pressão do meio interno e externo, e da resistividade ao vapor de água de cada camada:

$$\Delta P_{vn} = (P_{vi} - P_{ve}) e_n r_{vn} / R_{vT}$$

onde:

ΔP_{vn} – diferença de pressão na camada n	e_n – espessura da camada n
P_{vi} – pressão no ambiente interno	r_{vn} – resistividade ao vapor da camada n
P_{ve} – pressão no ambiente externo	R_{vT} – resistência total da parede ao vapor

Este cálculo, também, pode ser realizado em função das diferenças entre os conteúdos de água do meio interno e externo. Conhecendo-se as temperaturas em cada camada da vedação e os respectivos conteúdos de vapor de água, é possível determinar a temperatura de condensação, para cada camada, através do ábaco psicrométrico, figura 8.4, do anexo.

Quando ocorre a intersecção entre os gradientes de temperatura do ar das camadas e as respectivas temperaturas de condensação intersticial, surge o risco de condensação nestes locais. Estas condensações intersticiais, por não serem, facilmente, detectadas, podem gerar condições favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos e futuros problemas de umidade nas vedações.

A cidade de Florianópolis está situada na latitude de 27°30' sul. Pelo mapa do zoneamento climático da Espanha, figura 8.3, do anexo, a cidade que mais se aproxima destas condições é Santa Cruz de Tenerife, que está situada, em uma ilha do oceano Atlântico, na latitude 28°50'N. O mapa 2 de zoneamento por temperaturas mínimas médias do ano, conforme figura 8.2, do anexo, a norma fixa o valor da temperatura mínima de 10°C, que deverá ser usada no cálculo das condensações, conforme localização "V", para esta região.

A Condensação intersticial - A diferença de temperatura, que uma determinada camada produz na vedação, é função do produto entre a sua resistência térmica " R_n " e a diferença de temperatura, que a vedação gera " Δt ", dividido pela resistência térmica total da vedação " R_T ".

$$\Delta t_n = \frac{R_n \cdot \Delta t}{R_T}$$

Para o caso de Florianópolis a temperatura externa é de 13,3°C e a temperatura interna de 18°C, por se tratar de um edifício residencial, portanto:

$$\Delta t = T_{\text{externa}} - T_{\text{interna}} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\Delta t = 18 - 13,3$$

$$\Delta t = 4,7^\circ\text{C}$$

A resistência térmica total da vedação (R_T) inclui as resistências de todas as camadas, bem como, a adição das resistências superficiais do ar, interna e externa. Em vedações compostas não se deve tomar o valor da resistência térmica total pela ponderação, uma vez que este cálculo cria uma distribuição dos valores. Os cálculos dos gradientes de temperatura e da permeabilidade da vedação ao vapor de água são realizados por camadas,

portanto, devem ser realizados para todas as seções, a fim de verificar se há risco de condensação, em alguma seção. No caso de utilizar as camadas de uma determinada seção e a resistência total ponderada, deve-se estar atento aos resíduos de cálculo, que deverão ser direcionados convenientemente.

4.3.2.1. Cálculo dos riscos de condensações dos estudos de caso 1

Para a vedação utilizada no estudo de caso 1, composta por núcleo de poliestireno revestido com argamassa, que possui seção padrão em toda vedação do estudo de caso, tendo uma variação de temperatura interna/externa de 4,7°C, a tabela 4.12, a seguir, mostra a diferença de temperatura entre as camadas da vedação.

Seção de estudo de caso 1: (Rsi + argamassa + poliestireno expandido + argamassa+ Rse)

Tabela 4.12 – Diferença de temperatura das camadas da vedação (°C)

Camada	Rsi	argamassa	poliestireno	argamassa	Rse
Δt °C	0,22	0,04	4,33	0,04	0,07

A Resistência à passagem de vapor de água, de maneira análoga à resistência térmica, é calculada seguindo os mesmos princípios. Para uma vedação executada com um mesmo material, quanto maior for a espessura da camada, maior será a resistência à passagem ao vapor de água (tabela 4.13), sendo esta resistência dada por:

$$R_v = \delta \cdot e$$

onde: δ - é a resistividades ao vapor de água – tabela 4.2 NBE-CT-79
 e - é a espessura da camada em metros

Assim:

$$R_{\text{arg}} = \delta \cdot e = 80 \frac{MN_s}{gm} \cdot 0,04m = 3,2 \frac{MN_s}{g}$$

$$R_{\text{eps}} = 161 \frac{MN_s}{gm} \cdot 0,1m = 16,10 \frac{MN_s}{g}$$

Tabela 4.13 – Resistência à passagem ao vapor de água da vedação, em MNs/g
 Norma espanhola NBE-CT-79

Camada	argamassa	poliestireno	argamassa
--------	-----------	--------------	-----------

Resistência	3,2	16,10	3,2
-------------	-----	-------	-----

A permeabilidade ao vapor de água de cada componente da vedação está em função da resistência, à passagem de vapor de água, das temperaturas interna e externa e também, das umidades relativas, interna e externa.

$$\Delta C_n = \frac{R_{vn} \cdot x \Delta C}{R_{VT}}$$

Para estabelecer a contribuição no rebaixamento da temperatura, de cada componente da vedação, faz-se necessária a determinação das temperaturas interna e externa do ar, com as suas respectivas umidades relativas. A temperatura externa do ar, é de 13,3°C, com umidade relativa do ar, em 95% e a temperatura de orvalho na superfície da parede de 18°C, com umidade relativa interna de 75%. Pelo ábaco psicrométrico acha-se a temperatura de orvalho interna, que é de 13,59°C e a umidade absoluta C1=9,89 g/kg de ar seco; e temperatura de orvalho externa, sendo de 12,48°C com umidade absoluta C2=9,01 g/kg de ar seco, conforme ilustrado na figura 4.5 abaixo.

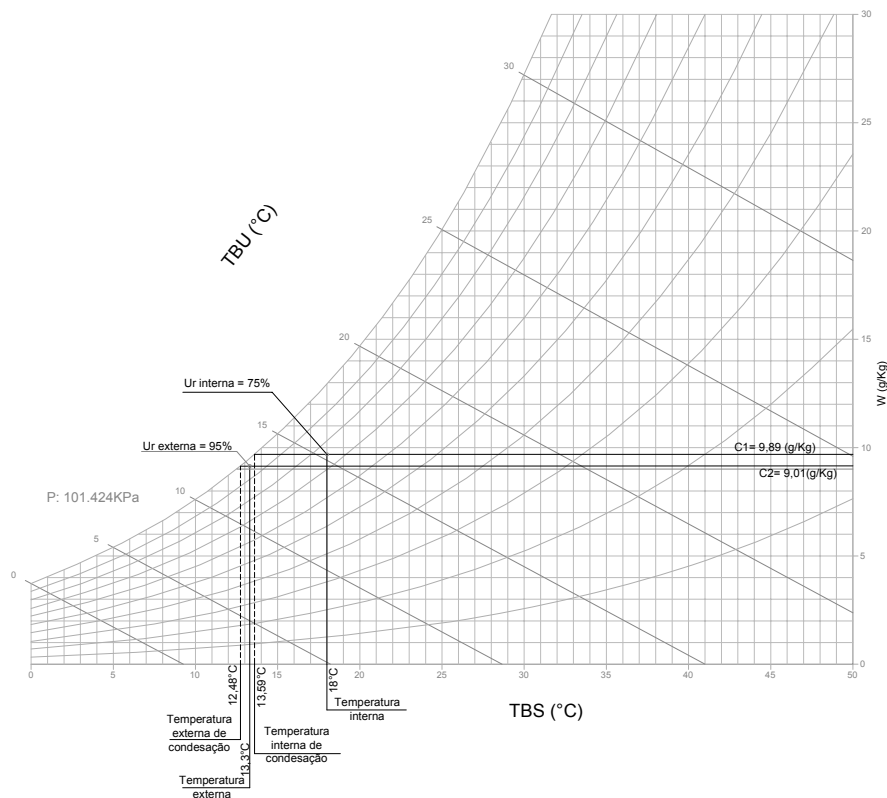


Figura 4.5 – Ábaco psicrométrico mostrando as temperaturas do ar e de condensação dos estudos de caso (ANALYSIS BIO)

Sendo a seção do elemento de vedação do estudo de caso 1: (Rsi + argamassa + poliestireno expandido + argamassa+ Rse), a permeabilidade ao vapor de água da vedação é:

$$\Delta C_n = \frac{R_{vn} \times \Delta C}{R_{VT}}$$

Sendo:

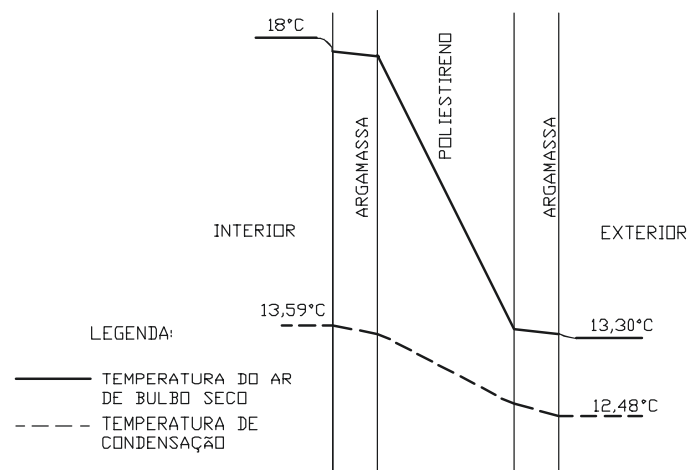
$$\Delta C = 9,89 - 9,01 = 0,88 \text{ g/Kg}$$

Assim temos:

Tabela 4.14 – Permeabilidade ao vapor de água da vedação, em g/kg
Norma espanhola NBE-CT-79

Camada	argamassa	poliestireno	argamassa
ΔC	0,125	0,630	0,125

Os valores anteriores da tabela 4.14 são registrados, no ábaco psicrométrico, no intervalo, entre 9,01 e 9,89 g/kg, que é a diferença total da umidade da vedação. Em seguida, são encontradas as temperaturas de condensação para cada camada, com umidade relativa igual a 100%. A figura 4.6 ilustra o resultado para esta vedação.



ISOLAMENTO HIGROTÉRMICO - CASO 1

Figura 4.6 – Seção da vedação com painel de poliestireno argamassado do Estudo de Caso 1, ilustrando a diminuição das temperaturas do ar.

A linha contínua representa as temperaturas do ar de bulbo seco e a linha tracejada representa as temperaturas de condensação. Observa-se, que neste caso, não há o risco de condensação intersticial, na vedação, pois, não ocorreu cruzamento, entre as linhas.

4.3.2.2. Cálculo dos riscos de condensações dos estudos de caso 2

Como o segundo estudo de caso localiza-se na mesma cidade do estudo de caso anterior, mantendo-se assim, as características de localização e equivalência, quanto a dados referente a norma espanhola, modificando, somente, a espessura do núcleo de poliestireno, que passou a ser de 5 cm. Assim, as temperaturas médias mínimas são de 13,3°C, ocorrendo, no mês de julho. Como no caso1 refere-se, também, de uma residência unifamiliar, a norma espanhola estabelece aos ambientes internos a temperatura mínima seca de 18 °C, a uma umidade relativa, no interior desses locais, não sendo superiores a 75% da umidade de saturação. A seção de estudo de caso 2 sendo: (R_{si} + argamassa + poliestireno expandido + argamassa+ R_{se}). Temos, também, uma variação de temperatura entre os ambientes externo e interno $\Delta t = 4,7^\circ\text{C}$, assim a diferença das temperaturas nas camadas são:

$$\Delta t_n = \frac{R_n \cdot \Delta t}{R_T}$$

Como:

$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n} \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$R_t = R_{\text{arg}} + R_{\text{eps}} + R_{\text{arg}} \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Deste modo, pode-se determinar a variação de temperatura nas respectivas camadas, expressas na tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Diferença de temperatura das camadas da vedação (°C)

Camada	R _{si}	argamassa	poliestireno	argamassa	R _{se}
Δt °C	0,42	0,083	3,99	0,083	0,13

A Resistência a passagem ao vapor de água na vedação:

$$R_v = \delta \cdot e$$

onde: δ - é a resistividades ao vapor de água – tabela 4.2 NBE-CT-79

e - é a espessura da camada em metros

Assim:

$$R_{\text{arg}} = \delta \cdot e = 80 \frac{\text{MN}s}{\text{gm}} \cdot 0,04\text{m} = 3,2 \frac{\text{MN}s}{\text{g}}$$

$$R_{\text{eps}} = 161 \frac{\text{MN}s}{\text{gm}} \cdot 0,05\text{m} = 8,05 \frac{\text{MN}s}{\text{g}}$$

Deste modo, pode-se determinar a variação da resistência à passagem de vapor de água nas respectivas camadas, expressas na tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Resistência à passagem ao vapor de água da vedação, em MNs/g
Borma espanhola NBE-CT-79

Camada	argamassa	poliestireno	argamassa
Resistência	3,2	8,05	3,2

Como verificado, anteriormente, no gráfico psicrométrico, temos a determinação das temperaturas interna e externa do ar, com as suas respectivas umidades relativas. A temperatura externa do ar é de 13,3°C, com umidade relativa do ar em 95% e a temperatura de orvalho, na superfície da parede de 18°C, com umidade relativa interna de 75%. Pelo ábaco psicrométrico acha-se a temperatura de orvalho interna, que é de 13,59°C e a umidade absoluta C1=9,89 g/kg de ar seco; e temperatura de orvalho externa sendo de 12,48°C, com umidade absoluta C2=9,01 g/kg de ar seco, conforme ilustrado, na figura 4.5, anteriormente mostrado.

A permeabilidade ao vapor de água, de cada componente da vedação, pode-se determinar por:

$$\Delta C_n = \frac{R_{vn} \cdot x \Delta C}{R_{vT}}$$

Sendo:

$$\Delta C = 9,89 - 9,01 = 0,88 \text{ g/Kg}$$

Deste modo, pode-se determinar a permeabilidade ao vapor de água nas respectivas camadas, expressas na tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Permeabilidade ao vapor de água da vedação, em g/kg
Norma espanhola NBE-CT-79

Camada	argamassa	poliestireno	argamassa
ΔC	0,195	0,49	0,195

Os valores da tabela 4.17, são registrados no ábaco psicrométrico, no intervalo, entre 9,01 e 9,89 g/kg, que é a diferença total do conteúdo de umidade da vedação. Em seguida, são encontradas as temperaturas de condensação para cada camada, com umidade relativa igual a 100%. A figura 4.6, ilustra o resultado para esta vedação.

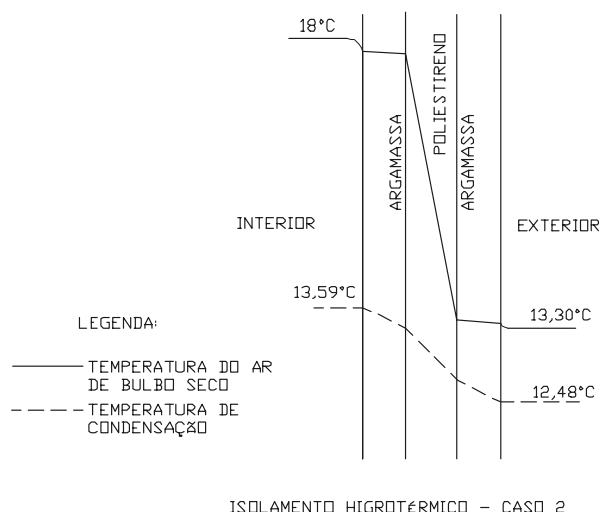


Figura 4.7 – Seção da vedação com painel de poliestireno argamassado do Estudo de Caso 2, ilustrando a diminuição das temperaturas do ar.

A linha contínua representa as temperaturas do ar de bulbo seco e a linha tracejada representa as temperaturas de condensação. Observa-se, que neste caso, não há o risco de condensação intersticial, na vedação, pois, não ocorreu intersecção entre as linhas.

4.4 DESEMPENHO ESTRUTURAL - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAINÉIS ARGAMASSADOS COM NÚCLEO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

4.4.1 Caracterização dos painéis analisados

A presente caracterização está fundamentada, no Projeto de Norma Brasileira, NBR 02.136.01.001/4 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de, até 5 pavimento – Parte 2: estrutura e Parte 4 : fachadas e paredes internas. A avaliação do desempenho consistiu em verificar, através de ensaios, a satisfação das exigências estabelecidas pelas respectivas normas da ABNT.

Os painéis sanduíches analisados são elementos pré-fabricados, padrão adotado no estudo de caso 2, com dimensões indicadas, na tabela 4.18, constituídos de núcleo de poliestireno expandido, com 5 cm de espessura, reforçado por telas de aço eletro soldadas, conforme mostra a Figura 4.8 e revestidos por uma camada de argamassa de 4 cm de espessura média por face aplicados, em duas demãos, conforme mostram as figura 4.9 e 4.10.

Os painéis foram posicionados, conforme a figura 4.8, onde se teve apoiada a maior dimensão no piso, diferente da posição de trabalho, onde este lado é a lateral do painel, para facilidade dos trabalhos de revestimento, porém, para a execução dos ensaios, a posição ensaiada será a de trabalho, de pé.

A execução dos revestimentos ocorreu, entre os dias 8 e 10 de março, com a aplicação dos revestimentos, em suas faces de forma seqüencial, com projeção pneumática da argamassa. Foram aguardados 30 dias para cura dos revestimentos, e somente, após esta data, foram executados os ensaios.

Tabela 4.18 – Painéis prontos a serem ensaiados

No.	Dimensão do painel (cm)	Data de Fabricação
1	13 x 105 x 266	08 e 10/03/2007
2	13 x 105 x 266	08 e 10/03/2007
3	13 x 105 x 266	08 e 10/03/2007

Para a caracterização da resistência e comportamento em serviço foram ensaiados 3 painéis, os quais tiveram os seus revestimentos e respectivos ensaios executados no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.



Figura 4.8 – Painéis a serem ensaiados sem revestimento

Materiais constituintes dos painéis:

Núcleo de poliestireno expandido:

Dimensões 50mmX1000mmX2600mm

Densidade 13 Kg/m³

Telas de aço eletro soldadas:

Fio 3,4 mm

Malha 75mmX150mm

Conectores de aço bitola 3,4 mm, 4 unidade por m².

Argamassas usadas para revestimento:

1^a Demão:

1 saca de 50kg de cimento CP V ARI

Relação água/cimento = 0,35

100 kg areia média

75 kg brita zero - pedrisco

250 g Fibras de polipropileno

50 ml de aditivo plastificante

Água: 17,5 litros

2^a Demão:

1 saca de 50kg de cimento CP V ARI

Relação água/cimento = 0,35

175 kg areia média

250 g Fibras de polipropileno

50 ml de aditivo plastificante

Água: 17,5 litros



Figura 4.9 – Execução revestimento dos painéis a serem ensaiados - 1ª. demão de argamassa.



Figura 4.10 – Execução revestimento dos painéis a serem ensaiados - 2ª. demão de argamassa.

4.4.2 Ensaio de impacto de corpo mole e corpo duro

Os ensaios para a avaliação de desempenho dos painéis são baseados no projeto de norma NBR 02.136.01.001/4, de abril de 2006, denominado Desempenho de edifícios Habitacionais de, até 5 pavimentos, Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.

4.4.2.1 Requisitos para ensaios de corpo mole e corpo duro (paredes externas e internas)

As paredes externas e internas, tanto com função estrutural, como com função de vedação, devem resistir aos impactos de corpo mole e corpo duro, que devem sofrer durante a vida útil do edifício. Traduz-se na energia de impacto, a ser aplicada, em paredes externas, com e sem função estrutural. Os impactos correspondem a choques acidentais gerados pela própria utilização do edifício, ou a choques provocados por tentativa de intrusão intencional, ou não. Dessa forma, são considerados os esforços gerados, tanto no exterior como no interior do edifício, diferenciando-se as paredes com e sem função estrutural, bem como as paredes de fachada e as paredes internas.

4.4.2.2 Critérios e níveis de desempenho para impactos de corpo mole

De acordo com tabelas indicativas no Projeto de Norma, NBR 02.136.01.001/4 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de, até 5 pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas, onde indica a energia de impacto de

corpo mole e os critérios e níveis de desempenho, as fachadas e paredes internas os quais não devem:

- a) sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança) para as correspondentes energias de impacto indicadas, nas tabelas 4 e 7, do projeto de norma;
- b) sofrer fissuras, escamações e delaminações, ou qualquer outro tipo de falha (impactos de utilização), que possa comprometer o estado de utilização, observando-se, ainda, os limites de deslocamentos instantâneo e residuais (“dh” é o deslocamento horizontal instantâneo, “dhr” é o deslocamento horizontal residual e “h” é a altura da parede), indicados, nas tabelas 4 e 7, do projeto de norma, e;
- c) provocar danos a componentes, instalações, ou aos acabamentos acoplados à parede, conforme limites indicadas, nas tabelas 4 e 7, do projeto de norma.

4.4.2.3 Método de avaliação utilizado

Verificação da resistência e deslocamento das paredes, por meio de ensaios de impacto, a ser realizados em laboratório, em protótipo. O corpo-de-prova deve incluir todos os componentes típicos do sistema. Um corpo impactador de corpo e massa ($m = 40$ kgf), definidas pela NBR 1675/90, é suspenso por um cabo e abandonado, em movimento pendular de uma altura “h”, até atingir a parede (Tabela 4.19). Devem ser registrados os deslocamentos e as ocorrências (eventuais falhas).

Tabela 4.19 – Massa de corpo mole impactador, altura e energia de impacto.

Impactador	m (kgf)	h (m)	E(J)
Corpo mole de acordo com a NBR 11675/90	40	0,30	120
	40	0,60	240
	40	0,90	360
	40	1,20	480
	40	1,80	720

4.4.2.4 Critérios e níveis de desempenho quanto à resistência de impactos de corpo duro

Sob a ação de impactos de corpo duro, as fachadas e paredes internas não devem:

- a) apresentar fissuras, escamações, delaminações, ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), observando-se a profundidades do dano a superfície do painel, ocasionados pelo corpo impactador, observando os limites indicados nas tabelas 9 e 10, do Projeto de Norma NBR 02.136.01.001/4;
- b) sofrer ruptura, ou transpassamento sob a ação dos impactos de corpo duro indicados, nas tabelas 9 e 10, do Projeto de Norma NBR 02.136.01.001/4.

Tabela 4.20 – Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto.

Impactador	Massa m (kgf)	Altura h (m)	Energia Joules
Corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) dez impactos para cada energia	1	1	10
	1	2	20

4.4.2.5 Descrição dos ensaios de impacto

4.4.2.5.1 Ensaio de impacto com corpo mole

O arranjo do ensaio consiste em um suporte metálico, que apóia e trava os painéis, na posição vertical e um dispositivo, que possibilita o movimento pendular da massa de corpo mole, com 40 kgf, para as diferentes alturas indicadas. Na parte posterior do painel, é posicionada uma régua de madeira, na altura do corpo impactante, perpendicularmente, ao painel, onde se registram os deslocamentos horizontais do painel, a cada impacto, demonstrados nas figuras 4.11 e 4.12.



Figura 4.11 – Arranjo de ensaio para impactos de corpo mole.



Figura 4.12 – Impacto de corpo mole no painel 1 ensaiado com massa 40 kg.

4.4.2.5.2 Ensaio de impacto com corpo duro

Foi utilizado o mesmo arranjo do impacto de corpo mole para a fixação do painel, na vertical. Uma esfera metálica, com massa de 1 kg., é então, suspensa, em forma de pendulo, a uma altura de 1 m, onde é solta, por 10 vezes, golpeando a superfície do painel e, posteriormente, a mesma esfera é suspensa à altura de 2 m e solta, por mais 10 vezes, onde, são observados os danos causados, na superfície do painel, em cada situação, à medida, que são efetuados os impactos, figuras 4.13 e 4.14.



Figura 4.13 – Arranjo de ensaio para impactos de corpo duro.



Figura 4.14 – Impacto de corpo duro, massa de 1 kg.

4.4.3. Resultados dos ensaios de corpo mole

4.4.3.1. Paredes externas:

Para determinação do deslocamento horizontal instantâneo, que foi a medida adotada na análise, pela norma, o “h” é a altura da parede, porém, altura adotada foi o vão livre, igual a 2400 mm, equivalente a altura de trabalho, assim, o “dh” limite para vedações verticais sem função estrutural é ($2400/125 = 19,20$ mm), que, para situações com acesso externo, localização térrea da vedação na habitação, se verifica o deslocamento horizontal instantâneo provocado, na parede pelo corpo impactante, de 240 Joules. Apesar da importância da medida do deslocamento residual “dhr”, neste ensaio, não foram feitas as medidas de deslocamento residuais causados pelos corpos impactantes aos painéis.

Tabela 4.21 – Ensaio de corpo mole para paredes externas - painel 1

PAINEL N. 1 Dimensões 13x105x266 cm com argamassa de revestimento de 4,0 cm por face Fabricado em 08 E 10/março e ensaiado em 11/abril/2007							
ENSAIO DE IMPACTO NA FACE EXTERNA COM CORPO MOLE Exigência para paredes externas de edifícios com mais de um pavimento sem função estrutural, impacto de fora para dentro [Tabela 4]							
Altura [cm]	Energia [Joules]	Deslocam dh[mm]	Residual dhr[mm]	Fissura [mm]	Abertura [mm]	Ruína	Nível de desempenho
30	120	2	-	-	-	-	M
60	240	3	-	-	-	-	M
90	360	10	-	-	-	-	M
120	480	33	-	-	-	-	M
180	720	36	-	-	-	-	M

Tabela 4.22 – Ensaio de corpo mole para paredes externas - painel 2

PAINEL N. 2 Dimensões 13x105x266 cm com argamassa de revestimento de 4,0 cm por face Fabricado em 08 E 10/março e ensaiado em 11/abril/2007							
ENSAIO DE IMPACTO NA FACE EXTERNA COM CORPO MOLE Exigência para paredes externas de edifícios com mais de um pavimento sem função estrutural, impacto de fora para dentro [Tabela 4]							
Altura [cm]	Energia [Joules]	Deslocam dh[mm]	Residual dhr[mm]	Fissura [mm]	Abertura [mm]	Ruína	Nível de desempenho
30	120	3	-	-	-	-	M
60	240	5	-	-	-	-	M
90	360	13	-	-	-	-	M
120	480	24	-	-	-	-	M
180	720	33	-	-	-	-	M

Tabela 4.23 – Ensaio de corpo mole para paredes externas - painel 3

PAINEL N. 3 Dimensões 13x105x266 cm com argamassa de revestimento de 4,0 cm por face Fabricado em 08 E 10/março e ensaiado em 11/abril/2007							
ENSAIO DE IMPACTO NA FACE EXTERNA COM CORPO MOLE Exigência para paredes externas de edifícios com mais de um pavimento sem função estrutural, impacto de fora para dentro [Tabela 4]							
Altura [cm]	Energia [Joules]	Deslocam dh[mm]	Residual dhr[mm]	Fissura [mm]	Abertura [mm]	Ruína	Nível de desempenho
30	120	4	-	-	-	-	M
60	240	7	-	-	-	-	M
90	360	14	-	-	-	-	M
120	480	29	-	-	-	-	M
180	720	43	-	-	-	-	M

4.4.3.2. Paredes internas:

Para situações de impactos internos, vedações localizadas nos demais pavimentos, onde também, altura adotada foi o vão livre, igual a 2400 mm, equivalente a altura de trabalho, o “dh” limite é $(2400/250 = 9,60 \text{ mm})$, onde se verifica o deslocamento horizontal instantâneo provocado, na parede pelo corpo impactante, de 120 Joules. Apesar da importância da medida do deslocamento residual “dhr”, também neste ensaio, como anteriormente, não

foram feitas as medidas de deslocamento residuais causados pelos corpos impactantes aos painéis.

Tabela 4.24 – Ensaio de corpo mole para paredes internas - painel 1

PAINEL N. 1 Dimensões 13X105X266 cm com argamassa de revestimento de 4,0 cm por face Fabricado em 08 E 10/março e ensaiado em 11/abril/2007							
ENSAIO DE IMPACTO DE CORPO MOLE Exigência para paredes internas sem função estrutural [Tabela 7]							
Altura [cm]	Energia [Joules]	Deslocam dh[mm]	Residual dhr[mm]	Fissura [mm]	Abertura [mm]	Ruína	Nível de desempenho
30	120	2	-	-	-	-	M
60	240	3	-	-	-	-	M
90	360	10	-	-	-	-	M

Tabela 4.25 – Ensaio de corpo mole para paredes internas - painel 2

PAINEL N. 2 Dimensões 13X105X266 cm com argamassa de revestimento de 4,0 cm por face Fabricado em 08 E 10/março e ensaiado em 11/abril/2007							
ENSAIO DE IMPACTO DE CORPO MOLE Exigência para paredes internas sem função estrutural [Tabela 7]							
Altura [cm]	Energia [Joules]	Deslocam dh[mm]	Residual dhr[mm]	Fissura [mm]	Abertura [mm]	Ruína	Nível de desempenho
30	120	3	-	-	-	-	M
60	240	5	-	-	-	-	M
90	360	13	-	-	-	-	M

Tabela 4.26 – Ensaio de corpo mole para paredes internas - painel 3

PAINEL N. 3 Dimensões 13X105X266 cm com argamassa de revestimento de 4,0 cm por face Fabricado em 08 E 10/março e ensaiado em 11/abril/2007							
ENSAIO DE IMPACTO DE CORPO MOLE Exigência para paredes internas sem função estrutural [Tabela 7]							
Altura [cm]	Energia [Joules]	Deslocam dh[mm]	Residual dhr [mm]	Fissura [mm]	Abertura [mm]	Ruína	Nível de desempenho
30	120	4	-	-	-	-	M
60	240	7	-	-	-	-	M
90	360	14	-	-	-	-	M

A avaliação dos ensaios de corpo mole dos painéis 1, 2 e 3, demonstraram, nível de desempenho satisfatório para resistir impactos externos, em paredes do pavimento térreo e também, para impactos internos, dos demais pavimentos, demonstrando estabilidade diante os esforços solicitados, não apresentando nenhum tipo de fissura, falhas, ruptura e tampouco transpasse do corpo impactante. Quanto aos deslocamentos horizontais instantâneos “dh”, apresentaram valores bem inferior ao limite, inclusive, com aplicação de energia de impacto de 720 Joules no painel.

4.4.4. Resultados dos ensaios de corpo duro

4.4.4.1. Paredes externas:

Tabela 4.27 – Ensaios de corpo duro para paredes externas - painel 1

PAINEL N. 1					
Fabricado em 08 e 10/março e ensaiado em 11/ abril /2007					
ENSAIO DE IMPACTO EXTERNO DE CORPO DURO					
Exigência para paredes externas (fachadas) com função estrutural [Tabela 9]					
Altura [m]	Energia [Joules]	Nº. de impactos	Afundamento [mm]	Ruína	Nível de desempenho
Impacto Interno					
1	10	3	2	-	M
1	10	10	11	sim	
Impacto externo					
2	20	2	2	-	M
2	20	7	8	sim	

Tabela 4.28 – Ensaios de corpo duro para paredes externas - painel 2

PAINEL N. 2					
Fabricado em 08 e 10/março e ensaiado em 11/ abril /2007					
ENSAIO DE IMPACTO EXTERNO DE CORPO DURO					
Exigência para paredes externas (fachadas) com função estrutural [Tabela 9]					
Altura [m]	Energia [Joules]	Nº. de impactos	Afundamento [mm]	Ruína	Nível de desempenho
Impacto Interno					
1	10	4	2	-	M
1	10	10	9	sim	
Impacto externo					
2	20	2	2	-	M
2	20	7	10	sim	

Tabela 4.29 – Ensaios de corpo duro para paredes externas - painel 3

PAINEL N. 3					
Fabricado em 08 e 10/março e ensaiado em 11/ abril /2007					
ENSAIO DE IMPACTO EXTERNO DE CORPO DURO					
Exigência para paredes externas (fachadas) com função estrutural [Tabela 9]					
Altura [m]	Energia [Joules]	Nº. de impactos	Afundamento [mm]	Ruína	Nível de desempenho
Impacto Interno					
1	10	4	2	-	M
1	10	10	10	sim	
Impacto externo					
2	20	3	3	-	M
2	20	8	12	sim	

Cabe aqui registrar que, o grau de ruína, que ocorreram nos ensaios, se limitou ao nível da armadura existente nos painéis, degradando o revestimento até aquele ponto, mantendo assim, a integridade do restante do revestimento, a partir deste ponto. Assim pode-se deduzir, que o painel manteve-se estável, apesar de ter sofrido ruína do revestimento, até onde, se localiza a tela de aço.

O comportamento observado, neste ensaio, demonstrou, que ele é satisfatório, quando se busca uma avaliação, quanto ao desempenho do revestimento da vedação, sendo restritivo, quando se quer ter um

posicionamento, quanto ao desempenho da vedação, como um todo, confirmando a razão de que o ensaio de corpo duro foi retirado do projeto de norma de desempenho para avaliação dos elementos de vedação.



Figura 4.15 – Painel 1 ensaiado



Figura 4.16 – Painel 2 ensaiado



Figura 4.17 – Painel 3 ensaiado

4.4.5. Avaliação dos resultados obtidos

O ensaio de corpo mole tem por finalidade avaliar o comportamento que da estrutura, frente a eventuais choques provocados por corpos com esta característica. A avaliação do conjunto de ensaios de corpo mole dos painéis 1, 2 e 3, mostrou, que a peça ensaiada é suficiente para suportar a impactos externos, de fora para dentro, em situação de localização de vedação térrea e para impactos internos, situação de localização das vedações, nos demais pavimentos, mostrado desempenho satisfatório, apresentando Nível M do projeto de Norma, apresentando comportamento estável da vedação, sem apresentar alterações, como fissuras, falhas e rupturas de qualquer espécie. Também, na avaliação dos deslocamentos horizontais instantâneos provocados na vedação frente ao corpo impactante, para vedações verticais, sem fins estruturais, os valores de deslocamentos “dh” apresentados, foram bem inferiores ao limite estabelecido pelo Projeto de Norma, como vistos anteriormente, confirmando assim, sua viabilidade aos usos analisados.

Nos ensaios de corpo duro os painéis ensaiados, também, atingiram níveis satisfatórios de desempenho, como descrito anteriormente, demonstrando ser estáveis, apesar de ter os revestimentos impactados, atingido ponto de ruína parcial, limitado até, o plano da tela de aço presente nos painéis, mantendo a integridade do revestimento, a partir deste ponto. Como elemento de vedação, os painéis demonstraram ser estáveis, quanto aos esforços submetidos nos ensaios.

5. ANÁLISES DOS ESTUDOS DE CASO

5.1 RESIDÊNCIA JURERÊ INTERNACIONAL



Figura 5.1 – Estudo de caso 1 - Vista obra concluída

Projeto edificações - arquitetura: Engenheiro Renato Hercílio Bertoldi;

Proprietário: Murilo Foes;

Localização: Jurerê, Florianópolis, SC;

Ano de execução: 2000;

Empresa construtora: Hermínio Soeth;

Área construída: 235,78m²;

Estrutura em concreto armado e vedações com painéis de poliestireno expandido e telas de aço argamassados;

Fabricante dos painéis: Engenheiro Renato Hercílio Bertoldi;

Dimensões dos painéis: 10X100X260cm.

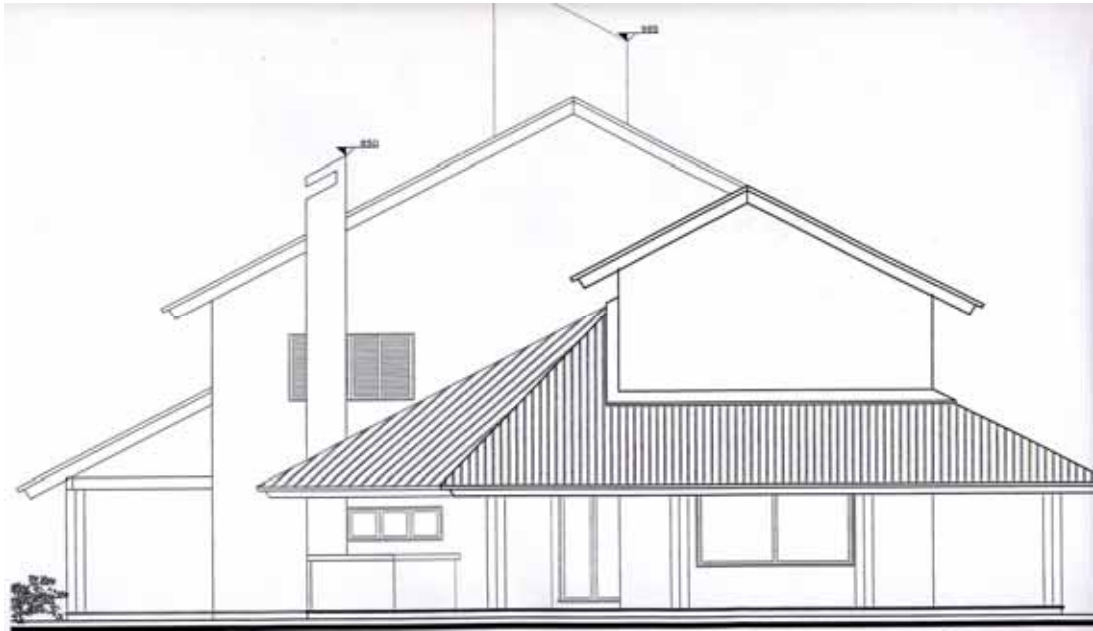


Figura 5.2 – Projeto Estudo de Caso 1 - Fachadas Norte

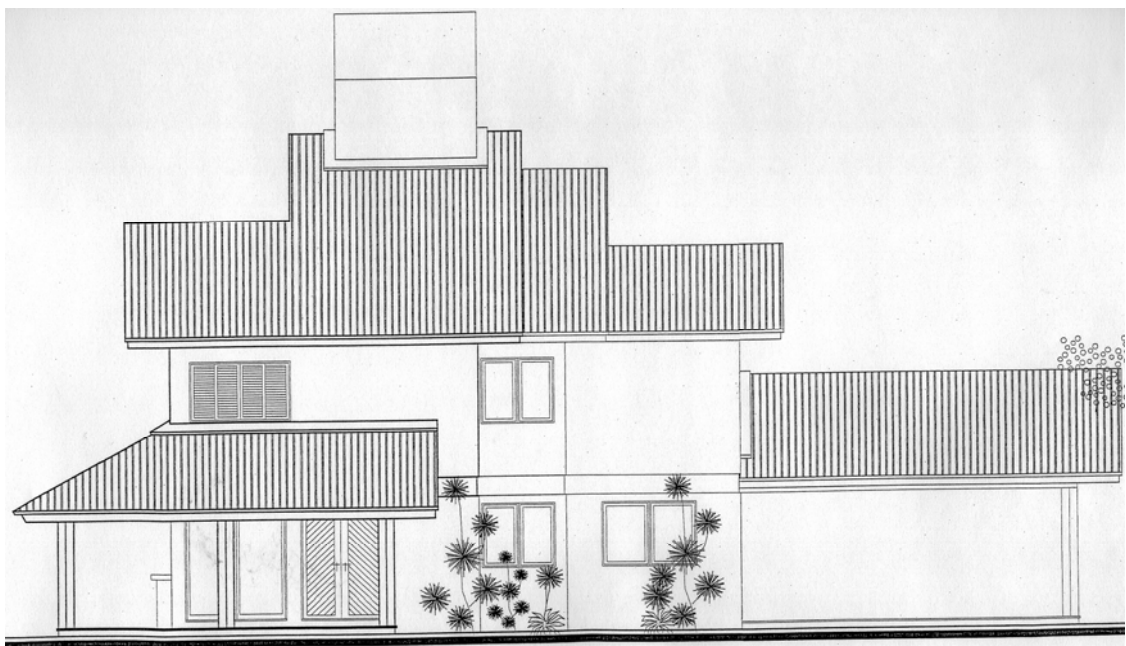


Figura 5.3 – Projeto Estudo de Caso 1 - Fachada Oeste

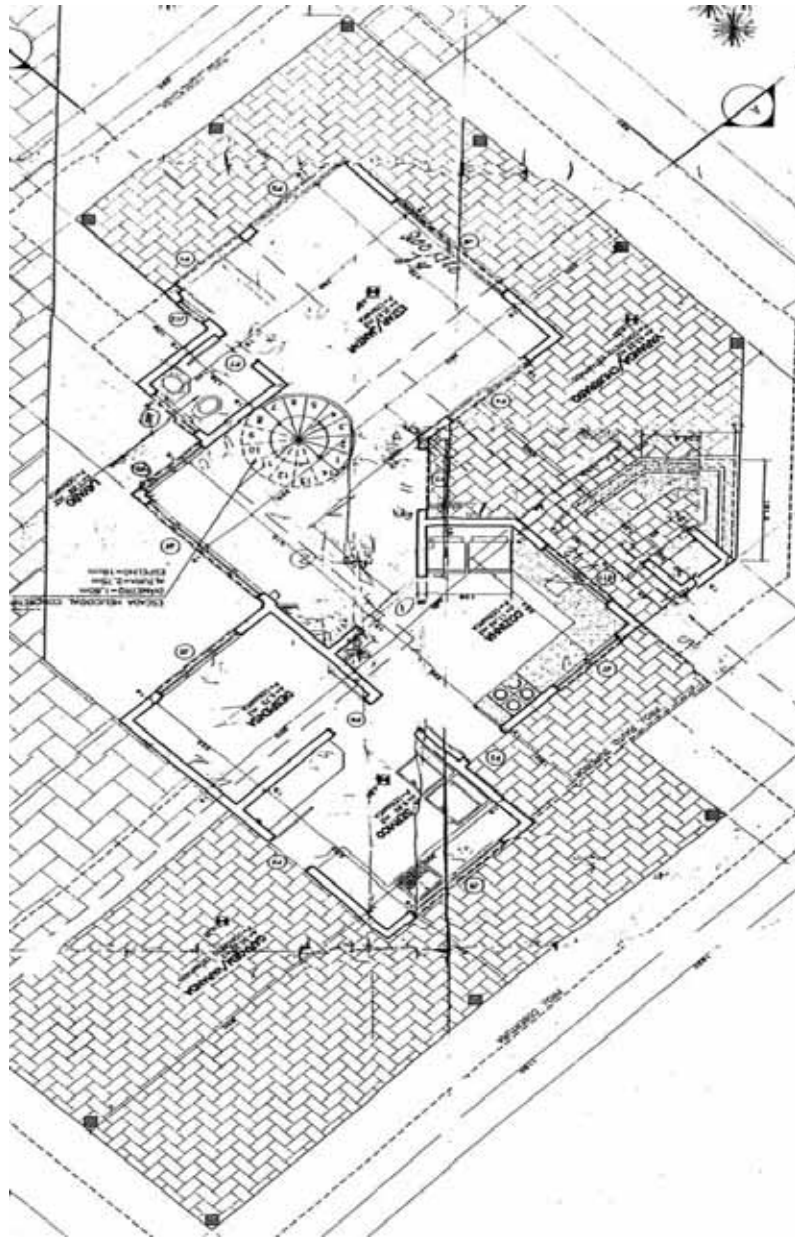


Figura 5.4 – Projeto Estudo de Caso 1 - Planta Baixa Pavimento Térreo

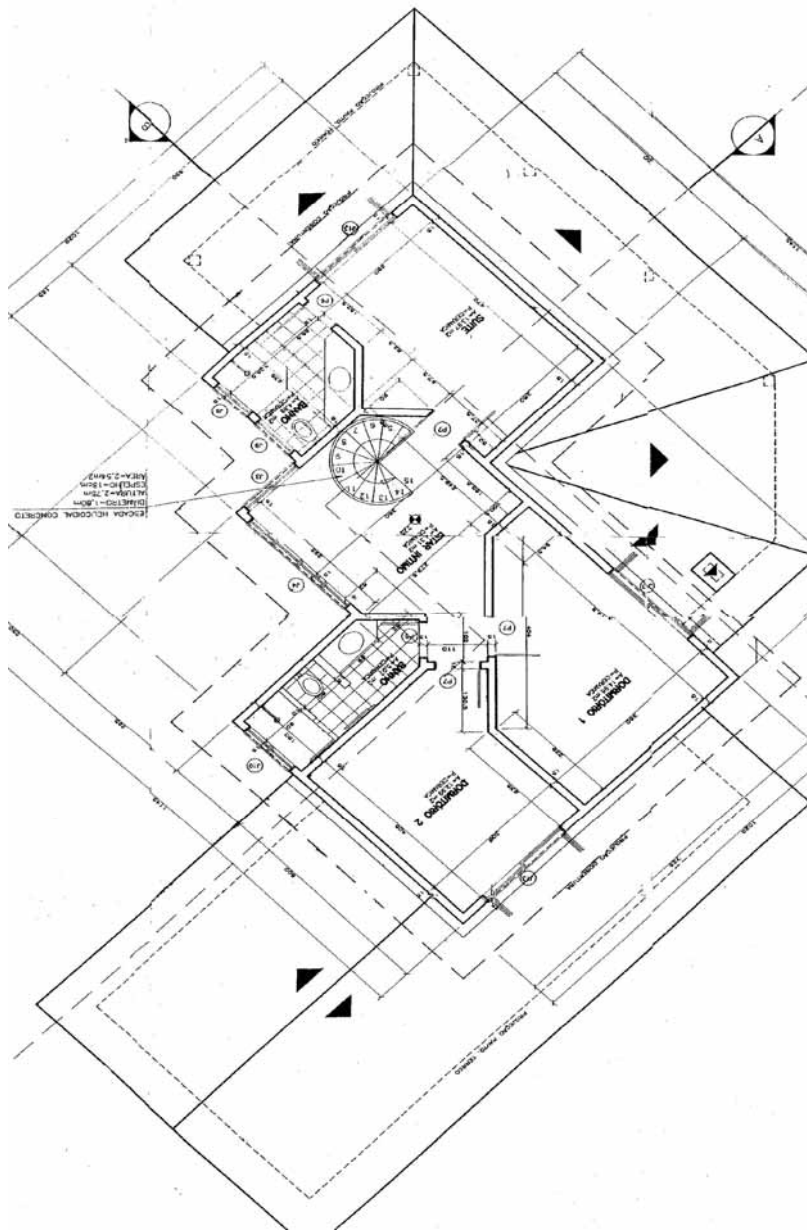


Figura 5.5 – Projeto Estudo de Caso 1 - Planta Baixa Pavimento Superior.

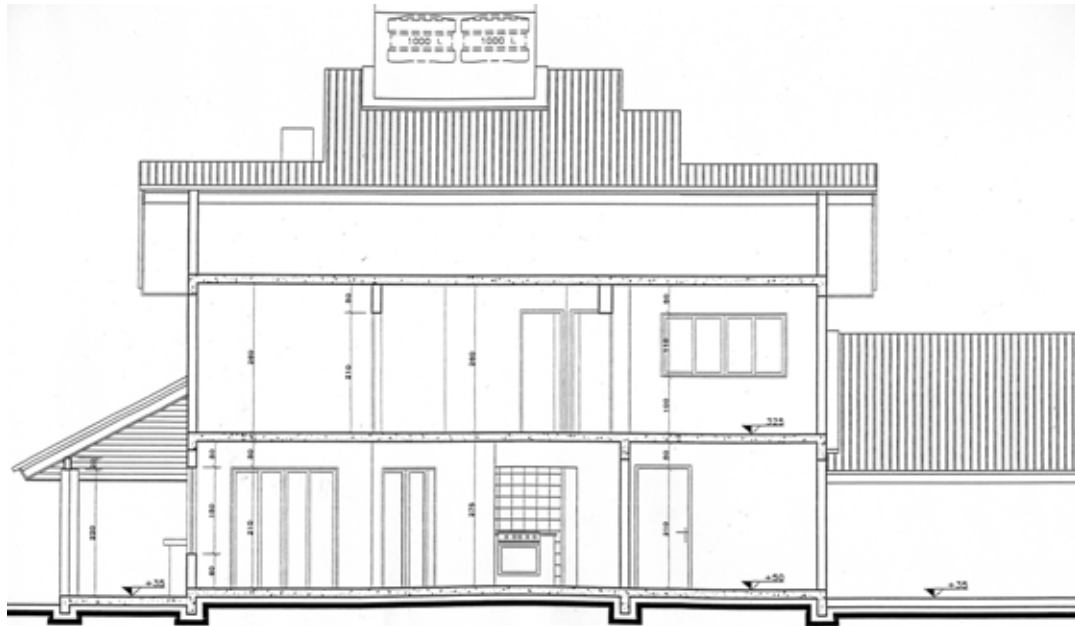


Figura 5.6 – Projeto Estudo de Caso 1 - Corte A-A

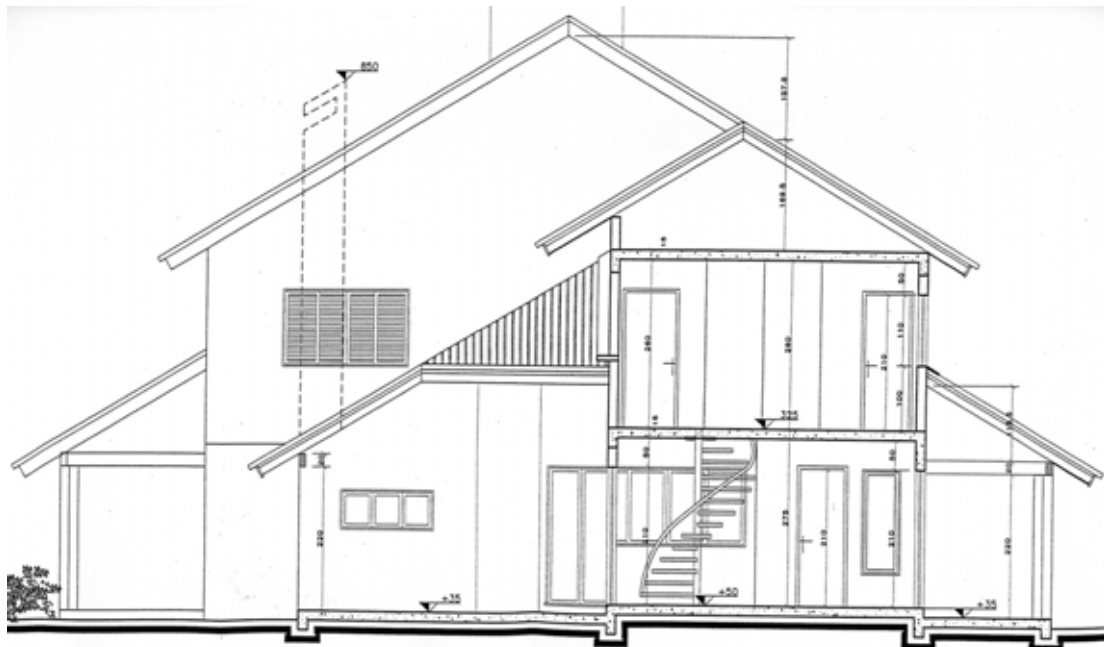


Figura 5.7 – Projeto Estudo de Caso 1 - Corte B-B.

Trata-se de uma obra residencial, localizada no Loteamento Jurerê Internacional, praia de Jurerê, região norte da ilha de Santa Catarina - Florianópolis, SC. Constituída por uma única unidade, de dois pavimentos. No térreo encontram-se os seguintes ambientes: salas de estar e jantar, lavabo, copa e cozinha, lavanderia e dispensa, além das varandas, churrasqueira e garagens, com duas vagas, tendo uma área de 161,64 m². O segundo pavimento é composto por suíte, dois dormitórios, banho e estar íntimo, tendo uma área de 74,14 m². Assim, a área construída totaliza 235,78 m², conforme projetos da edificação, a seguir mostrado. A construção foi executada, em estrutura de concreto armado e vedações, com painéis compostos por núcleo de poliestireno expandido e telas eletro soldadas, os quais receberam revestimento final por duas camadas de argamassa projetada.



Figura 5.8 – Fachada com painéis revestidos com argamassa projetada.

A obra foi executada por uma equipe constituída por quatro operários, coordenada por um mestre-de-obras, com experiência de mais de 30 anos, porém, ele, como os demais, nunca haviam tido contato com a tecnologia de painéis de poliestireno.

O terreno, local da construção, recebeu aterro, com altura média, em torno de 1,00m e para tal, teve que ser construída uma cortina perimetral de contenção, que também, serviu de fundações para o muro de fechamento.

Depois de concluídas as etapas anteriores descritas e o aterro concluído, teve início a construção da casa, propriamente dita.

5.1.1 Fechamento do terreno execução dos muros

O início da montagem dos painéis ocorreu pela execução dos muros, proporcionando, assim que, a equipe tivesse um primeiro contato com os materiais, conhecimento e entendimento das fases do processo, como: ancoragem; o transpasse de malhas; colocação das malhas de reforço; alinhamento; prumo e travamento dos painéis; instalações e projeção do revestimento argamassado dos painéis, demonstrados nas figuras 5.9 e 5.10. Além desses fatos, o fechamento do terreno deu maior segurança à obra.



Figura 5.9 – Montagem - painéis muro



Figura 5.10 – Projeção 1ª. Demão de Argamassa

Foi de fundamental importância o início dos trabalhos desta forma. Como os muros tinham altura de 1,00m de painel, tendo muita facilidade de manuseio, a equipe teve oportunidade de efetuar um treinamento e romper os preconceitos sobre o sistema pois construir, sem a utilização de tijolos, ou blocos, era uma novidade muito grande. Esta fase de montagem teve uma característica didática muito grande para a equipe: a colocação dos painéis; o transpasse das armaduras de ancoragem e de continuidade entre eles, a colocação de armaduras de reforço, superior e de canto; alinhamento; travamento; colocação de eletrodutos e a produção da argamassa; o traço; o uso dos aditivos; o slump; a verificação da trabalhabilidade do traço e projeção da argamassa.

Foram feitos testes de produtividade, no argamassamento dos painéis, comparando com o processo manual, usando colher de pedreiro e com o equipamento de projeção, pois, era outra resistência dos operários, que se observou no início. Visualizar a importância da montagem de forma correta, o alinhamento e prumo dos painéis, suas consequências com a montagem errada, ocasionando maior consumo de materiais para sua correção e falta de linearidade com o comprometimento da qualidade dos serviços, enfim, a conscientização de que, cada etapa deveria ser bem executada, para que se tivesse uma produtividade com qualidade.

Para a execução da montagem, alinhamento, prumo e travamento dos painéis do muro, que possui alturas de 1,80m e 1,10m, numa extensão de 67,00m, o tempo necessário foi, aproximadamente, três horas, tarefa esta executada por uma equipe de quatro pessoas.

5.1.2 Execução do pavimento térreo

Com objetivo de racionalização do espaço, no canteiro de obra, os painéis necessários para a execução da obra, tiveram sua programação de entrega prevista para duas etapas. Inicialmente, foram entregues os painéis necessários para a o muro e pavimento térreo e, numa segunda etapa, para o segundo pavimento. Com a rapidez na montagem de cada etapa, não se teve materiais estocados na obra por muito tempo.

Com os painéis recortados e catalogados, conforme planta de montagem, o pavimento térreo teve, para sua execução, o período de um dia, figuras 5.11 e 5.12. Como o projeto previa estrutura com pilares, as armaduras foram colocadas, anteriormente, para facilitar os trabalhos, após a colocação dos painéis, executou-se o fechamento de suas formas. Este procedimento proporcionou, que com a concretagem dos pilares, criou-se a consolidação da ancoragem dos painéis de vedação com esses elementos estruturais - pilares. Sobre os painéis montados, foram colocadas armaduras, em forma de “U”, em malha, pois, sobre elas foram concretadas as vigas do pavimento superior. Estes procedimentos garantiram uma ancoragem dos painéis de vedação, nos quatro lados, piso, viga superior e nos pilares laterais. Posteriormente, foram

efetuados os alinhamentos dos vãos e travamentos no prumo, utilizando-se régua de madeira para sua execução.



Figura 5.11 – Montagem - Pavto. Térreo



Figura 5.12 – Início das montagens Pavto. Térreo

5.1.3 Execução das instalações elétricas e hidráulicas

A colocação dos eletrodutos e demais tubulações são executadas, por um único operário, instalador, que utiliza para executar abertura dos sulcos para colocação dos mesmos, um soprador térmico, que ao projetar ar quente sobre a superfície do poliestireno expandido, o mesmo se contraia, abrindo sulcos para acomodar a tubulação prevista, figura 5.13. A etapa posterior, foi à projeção da primeira camada de argamassa, feita de forma seqüencial, dos dois lados (faces) do painel, de forma a não provocar uma deformação no painel. Nos pontos de acabamento, como as caixas elétricas, de 50X100 mm, ficam soltas, sendo fixadas por ocasião da execução do revestimento final, 2ª. demão, as quais serão alinhadas às superfícies e colocados em posicionamento correto, figura 5.14.



Figura 5.13 - Instalações hidráulicas e elétricas



Figura 5.14 - Fixação de caixas de passagem elétrica

5.1.4 Execução do pavimento superior

Por questões de custos, o sistema de laje adotado não foi com os painéis das paredes. Foram utilizadas vigotas pré-fabricadas, modelo Votoram, com blocos de poliestireno expandido, solução viável, econômica e tecnicamente, com facilidade e rapidez de execução das instalações, figura 5.15. Deve-se prever para o bloco de poliestireno expandido um recorte maior para acomodá-lo às vigotas, evitando-se, assim, que ocorra seu deslocamento, por ocasião da concretagem. Também, como ocorreu, na execução do pavimento térreo, foram deixadas esperas de ancoragem para os painéis do 2º. pavimento, como as armadura de ancoragem dos pilares. Para facilitar a execução desta etapa, o início dos trabalhos ocorreu pela montagem das formas externas dos pilares, figura 5.16. A partir daí, a seqüência dos trabalhos prosseguiu como no pavimento térreo, figuras 5.17 e 5.18.



Figura 5.15 – Instalações elétricas



Figura 5.16 – Início da montagem segundo pavto.



Figura 5.17 – Colocação das armaduras de reforço



Figura 5.18 – Continuação da montagem e travamento

5.1.5 Execução da cobertura

A laje de cobertura foi executada da mesma forma da laje de piso do pavimento superior. Os painéis de acabamento, na cobertura, tiveram as etapas construtivas como descritas anteriormente com sua ancoragem feita por armaduras de espera existente na laje e nos pilares. Como os painéis foram produzidos, conforme projeto, eles possuíam recorte no ângulo determinado, ficando, assim, as empenas e oitões prontos para execução do madeiramento do telhado, figuras 5.19 e 5.20.



Figura 5.19 – Painéis de fechamento da cobertura



Figura 5.20 – Detalhe - viga de fechamento superior do painel

Pela resistência que o painel apresenta, após seu argamassamento, a execução do telhado, foi feita aproveitando esta característica do painel, onde foi executado, com apoio das madeiras das terças e de cumeeira sobre ele. Para ter início a fase de construção do madeiramento, inicialmente, foi concluída a projeção da primeira demão de argamassa, sobre todos os painéis da obra, figuras 5.21 e 5.22.

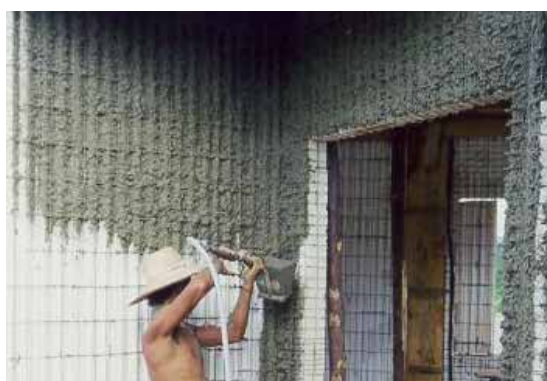


Figura 5.21 – Argamassamento externo



Figura 5.22 – Construção do madeiramento do telhado

5.1.6 Execução dos revestimentos argamassados

Os revestimentos argamassados aplicados aos painéis foram - na primeira demão, traço 1:3, relação A/C igual 0,30 onde se utilizou como agregados, brita número zero e areia média. Aplicados com projeção pneumática, tendo espessura média de 2,0 cm, figuras 5.21 e 5.22. O traço utilizado para a segunda demão, também, foi feita com o traço 1:3, relação A/C igual 0,30, porém, utilizando areia média não peneirada, além da adição de fibras de nylon para minimizar as tensões internas provenientes da cura do revestimento aplicado, desta forma garantindo qualidade e efeito final desejado. A aplicação, também, foi feita com projeção pneumática. Depois de seco, o reboco apresentou grande quantidade de fibras superficiais, sendo necessária projeção de calor sobre ele, para sua eliminação. Essa foi operação executada com maçarico. O revestimento externo foi feito com areia média não peneirada, pois, o efeito desejado foi um reboco rústico, demonstrando mais uma vez a flexibilidade do sistema em receber diversos tipos de acabamento, figuras 5.23 e 5.24.



Figura 5.23 – Obra concluída - Fachada Sul



Figura 5.24 – Obra concluída - Fachada Leste

5.1.7 Finalização da obra

Entre outros produtos adotados, como acabamento pode-se citar: esquadrias de madeira; piso cerâmico; telhas cerâmicas; pintura externa acrílica e interna em látex.

O tempo de execução da obra foi de cinco meses, sendo que, as etapas construtivas diretamente relacionadas com os painéis de poliestireno ocorreram

de forma bastante rápida e produtiva, porém, como na obra, além deste sistema, foram utilizados, outros sistemas convencionais, estes tiveram reflexo direto, no prazo de execução da obra.

O aspecto final da obra executada neste estudo de caso, não demonstra nenhuma característica, que indique o processo de execução, como ocorre em muitas construções industrializadas, figuras 5.23 e 5.24.

5.1.9 Características dos painéis adotados na obra

Os painéis sanduíche formados pela união de telas eletro soldadas, e núcleo de poliestireno expandido, nas dimensões de 100X1000X2600 mm, foram fabricados com núcleo de poliestireno expandido, classe F1, com densidade de 15 kg/m³, recortados com desenho específico, em forma de onda. Estes painéis são formados, então, por duas unidades de chapa padrão espessura de 50 mm, que irão fornecer ao final a espessura necessária de 100 mm. Nesta obra, foram utilizados dois painéis de poliestireno expandido, como núcleo, para atender a necessidade de se ter um painel de 100 mm, figura 5.25, e as telas eletro soldadas de aço CA 50, com fio de 3,4 mm de malha 75X150 mm. Estes painéis foram fabricados unindo-os, através de fios de mesma bitola das telas por meio de ganchos, fixados, manualmente, e presos, também, através da simples dobra desses elementos de ligação. Desta forma monta-se o conjunto (tela + núcleo de poliestireno + tela). Todos os painéis foram pré-fabricados e, posteriormente, transportados para obra os quais, após a montagem, travamento e execução das instalações, receberam revestimento de argamassa projetada, em duas demãos, sendo a última reguada e desempenada, obtendo-se, assim, o acabamento de reboco final desejado para posterior aplicação de pintura.

5.1.10 Detalhamento de fixação e ancoragem

Os painéis sanduíche são apoiados, diretamente, sobre os elementos estruturais como fundações, vigas e lajes, os quais quando executados, recebem esperas de aço CA-60, com bitolas de 4,2 mm e comprimento de 50 cm, espaçamentos, entre eles, de 50 cm distanciados, na dimensão equivalente à espessura do núcleo do painel adotado para a obra, como

mostrados na figura 5.26, pois, assim, tem-se o transpasse das armaduras de espera com as telas existentes nos painéis, que, posteriormente serão argamassados. Como na montagem dos painéis, as telas ficam posicionadas com os fios horizontais, em contato com o núcleo de poliestireno, em forma de onda e os fios verticais das telas ficando pelo lado de fora. Pela disposição da tela, nos painéis, por ocasião da montagem, onde, ocorrem os transpasses de armaduras, os fios da tela e da armadura de ancoragem, ficam no mesmo plano. Desta forma, não se tem problemas de cobertura da armadura com argamassa de espessura média de 1,5 cm, pois, a espessura se mantém a mesma da tela. Assim, se tem a consolidação da ancoragem dos painéis, mantendo-se sua estabilidade e transmitindo as cargas, diretamente, para os elementos estruturais a eles ancorados.



Figura 5.25 – Painéis de EPS com núcleo de 10 cm



Figura 5.26 – Espera de ancoragem painéis

5.1.11 Transpasse de telas

Neste processo construtivo, não fica caracterizada a formação de juntas, tendo-se uma continuidade das armaduras. Pela forma de montagem dos painéis, com a superposição das telas entre os painéis, garantindo assim, sua continuidade, além da ancoragem dos painéis aos elementos estruturais construídos, anteriormente, figura 5.27, o mesmo ocorrendo nos encontro com colunas e vigas que foram concretadas com as telas, figura 5.28. Assim, não ocorrendo formação de juntas.



Figura 5.27 – Transpasse de talas dos painéis



Figura 5.28 – Telas dos painéis incorporados as vigas

5.1.12 Características da montagem dos painéis

Com as fundações já executadas, onde foram colocadas as esperas para ancoragem dos painéis, que irão formar as paredes, tem-se o início da montagem, que é feita manualmente, pois, os painéis são, extremamente, leves, sendo manuseados por um único operário, cada painel com dimensão de 100X1000X2600mm. Com a colocação dos painéis, obedecendo à planta de montagem fazendo com que ocorram, também, o transpasse entre as telas, que fazem parte dos painéis, pois, possuem comprimentos maiores nos lados opostos do que seu núcleo de poliestireno. Desta forma, tem-se a continuidade das telas ao longo das paredes. Após montados, os painéis são travados a prumo, estando prontos para receber as instalações e, posteriormente, projeção das argamassas dando revestimento final à parede.

5.2 RESIDÊNCIA PANTANAL



Figura 5.29 – Estudo de Caso 2 - Vista obra concluída

Projeto - arquitetura: Engenheiro Renato Hercílio Bertoldi;

Proprietário: José Antônio Franco Barbosa;

Localização: Pantanal, Florianópolis, SC;

Ano de execução: 2000;

Empresa construtora: Itamar Construções

Área construída: 114,74 m²;

Estrutura e vedações com painéis de poliestireno expandido e telas de aço argamassados;

Fabricante dos painéis: Engenheiro Renato Hercílio Bertoldi;

Dimensões dos painéis: 5X100X260 cm.



Figura 5.30 – Projeto Estudo de Caso 2 - Fachada Sul

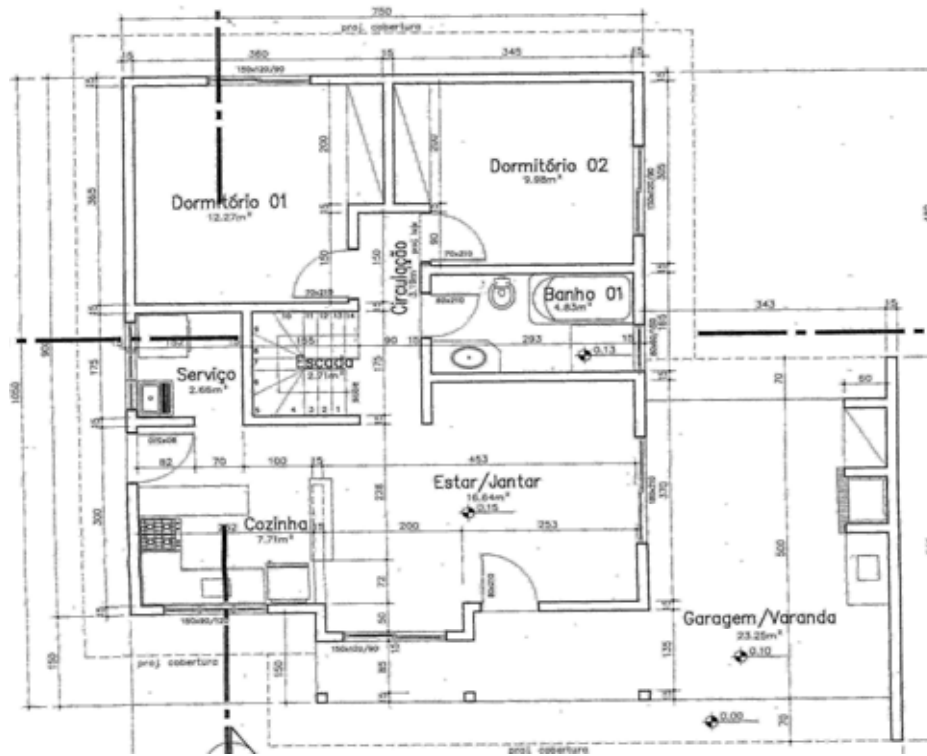


Figura 5.31 – Projeto Estudo de Caso 2 - Planta Baixa Pavimento Térreo

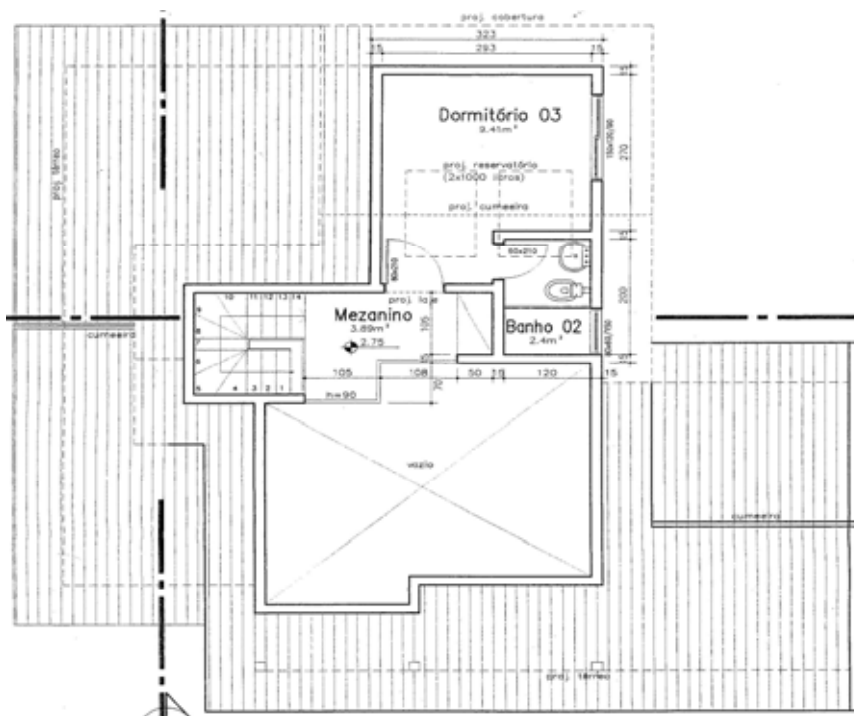


Figura 5.32 – Projeto Estudo de Caso 2 - Planta Baixa Pavimento Superior

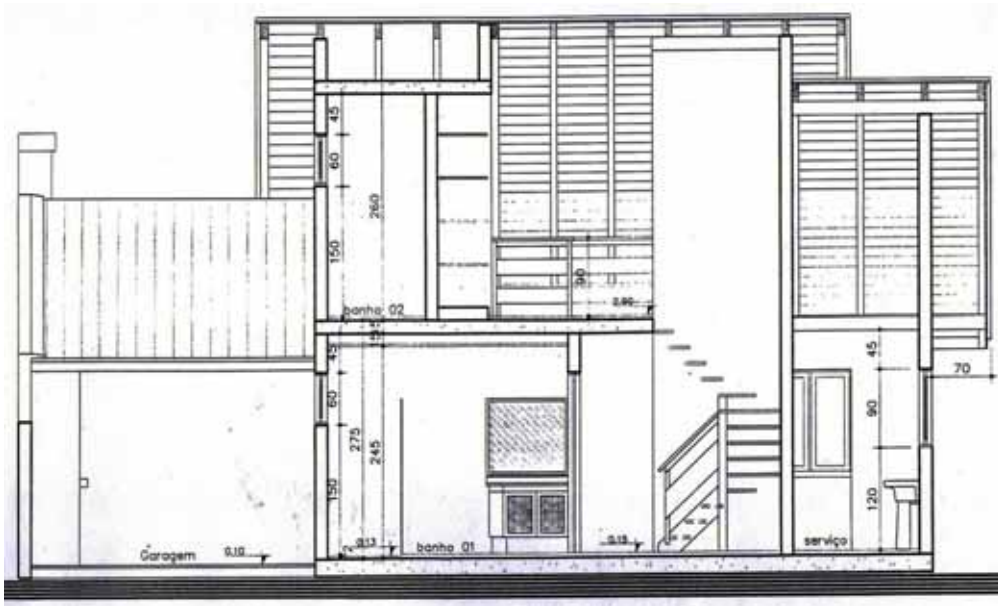


Figura 5.33 – Projeto Estudo de Caso 2 - Corte 01

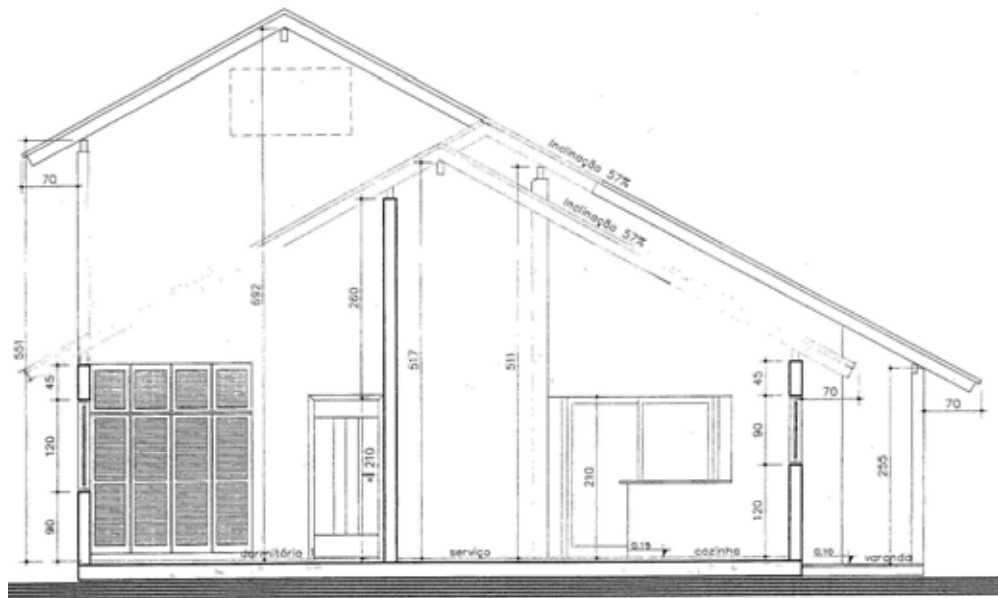


Figura 5.34 – Projeto Estudo de Caso 2 - Corte 02

O segundo estudo de caso trata de uma obra residencial, localizada no Loteamento Jardim “Los Angeles”, Quadra A, lote 16, Rua Maria Eduarda, Pantanal, ilha de Santa Catarina - Florianópolis, SC. Constituída por uma única unidade, em dois pavimentos. No térreo, encontram-se os seguintes ambientes: dois dormitórios, banheiro, salas de estar e jantar integradas, circulação, escada, copa, cozinha e lavanderia, além da varanda e garagem, com churrasqueira, tendo uma área de 92,57 m². O segundo pavimento é composto por uma suíte, tendo uma área de 22,17 m². Assim, a área construída totaliza 114,74 m², conforme projeto da edificação a seguir mostrada. A construção foi executada com painéis que tiveram função estrutural e de vedação vertical, compostos por núcleo de poliestireno expandido e telas eletro soldadas, que receberam revestimento final por duas camadas de argamassa projetada.



Figura 5.35 – Fachada com revestimento pavimento térreo com argamassa projetada – 1ª. demão e painéis montados pavimento superior.

A obra foi executada por uma equipe constituída por quatro operários, coordenada por um pedreiro mais experiente, membro da equipe, sendo que, determinados serviços, como instalações hidráulicas, elétricas e carpintaria foram executados por outros profissionais. Esta equipe recebeu orientações

sobre o sistema construtivo, pois, nunca haviam tido contato com a tecnologia de painéis de poliestireno. O terreno, local da construção, encontrava-se, praticamente, pronto para execução da obra, sem a necessidade de execução de terraplanagem.

5.2.1 Fundações

Conforme projeto estrutural, deu-se início à execução das fundações - sapatas e vigas de baldrame. Conforme características do processo, foram colocadas esperas de aço com comprimento de 40 cm, espaçadas, de 50 em 50 cm, os quais teriam a função de ancoragem dos painéis as fundações. Após a concretagem, deu-se início a preparação da base dos pisos da edificação, executando o enchimento com aterro, sua compactação e colocação de uma camada de brita nivelando as vigas do baldrame, conforme figura 5.36, posteriormente, executada concretagem do contrapiso, em toda a área do pavimento térreo, figura 5.37, com exceção dos locais, onde estavam previstos tubulações que foram executados, posteriormente. Desta forma, a obra teve uma condição melhor de execução das etapas posteriores, como a de montagem dos painéis.



Figura 5.36 – Baldrame e aterro



Figura 5.37 – Contra piso, ferragem de ancoragem e painéis estocados para montagem das paredes.

5.2.2 Paredes

Nesta obra, foram adotados os painéis com núcleo de poliestireno reforçado com telas de aço eletro soldadas revestidos com argamassa

projetada, não só com características de vedação, como, também, com função estrutural, sendo que em toda a obra foram executados, somente, quatro pilares, que deram sustentação a caixa d'água, como se pode observar, posteriormente, nas figuras 5.47 e 5.49.

A execução das paredes - montagem dos painéis, demonstrado nas figuras 5.38 e 5.39, teve seu início pelos cantos, conforme orientação técnica, e, sucessivamente, os demais painéis foram sendo montados, conforme a seqüência de montagem, com o objetivo de se ter maior produtividade, nesta etapa do processo - montagem no canteiro de obra, os painéis foram, previamente, cortados, conforme previstos no projeto de edificação – recortes de vãos de aberturas, portas e janelas, empenas e oitões. À medida que foram sendo posicionados os painéis, eram garantidos os transpasses de telas, entre eles e, também entre eles e a armadura de ancoragem do piso.



Figura 5.38 – Início da montagem no encontro de paredes, canto da sala.



Figura 5.39 – Montagem painéis e transpasse de telas e ancoragem com o piso

Após montagem, o alinhamento e travamento dos painéis, no prumo, foram feitos com auxílio de régua de madeira, de 2,5 cm X 7,5 cm, sendo que esta operação ocorreu, sempre, por um único lado da parede montada. Nas paredes executadas, a fixação e o travamento ocorreram, internamente, liberando a face externa dos painéis para serem argamassados, figuras 5.40 e 5.41.



Figura 5.40 – Alinhamento e travamento painéis



Figura 5.41 – Montagem pavimento térreo

5.2.3 Instalações

Concluída a etapa de montagem dos painéis do pavimento térreo, foram executadas as instalações elétricas, telefônicas e hidro-sanitárias, tendo o seu início pela abertura de sulcos nos painéis utilizando como ferramenta um soprador térmico elétrico, com o qual, o próprio instalador executou esta etapa. É projetado calor sobre a superfície do painel de poliestireno, que se contrai produzindo o sulco necessário, para a posterior colocação das tubulações, demonstrados nas figuras 5.42 e 5.43.



Figura 5.42 – Execução de sulcos nos painéis para receber as instalações.



Figura 5.43 – Execução de sulcos nos painéis para receber as instalações

Destacando-se, as facilidades de execução e a limpeza com esta operação é feita, sem a necessidade de auxiliares e de ferramentas para quebra e corte, comumente utilizada, em obras convencionais e a quantidade

de entulhos, que, normalmente, se vêem, sem citar, que é uma operação, extremamente, rápida e que, também, proporciona uma precisão das instalações, conforme foram projetadas, situação esta, que muitas vezes não ocorre em obras convencionais, devido a vários fatores. Ao mesmo tempo em que se executavam as instalações nos painéis, no interior da obra, externamente, se dava início à projeção da 1ª. demão de argamassa nos painéis. Em seguida, eram também, executados os revestimentos nas faces internas dos painéis revestidos anteriormente, evitando assim, o empenamento do painel revestido.

5.2.4 Revestimentos dos painéis

A rigidez das paredes começa nesta etapa. Até esta fase, as paredes eram compostas por elementos leves, com a possibilidade de efetuar pequenas alterações, deslocamentos de paredes inteiras, alterando dimensões de cômodos com aproveitamento integral dos materiais, operação, que é possível a execução de maneira rápida e sem custos significativos e com aproveitamento integral dos painéis.

Os painéis foram argamassados em duas etapas, diferenciando os traços, somente, na composição dos agregados utilizados, na 1ª. demão - areia e brita zero e na 2ª. Demão, somente, areia média. O traço adotado foi 1:3,5 utilizando o cimento CP V ARI, relação A/C de 0,30, aditivo plastificante e fibras de polipropileno.

A argamassa foi toda produzida na obra e tomou-se o cuidado na escolha do fornecedor dos agregados, tendo um único fornecedor no período de execução da obra, e mantendo, também, um controle de qualidade dos agregados. No canteiro de obras, com o objetivo de se ter regularidade na produção das argamassas, adotou-se um único operário para esta função, pois, caso contrário, poderia ocorrer uma grande variação nas características das argamassas produzidas caso, fossem feitas por vários operários, pois, poderia variar sua forma de produzi-la de um operário para o outro.

O argamassamento dos painéis se deu, com auxílio de um projetor pneumático, que projeta a argamassa com uma energia constante ao longo da parede, como se vê nas figuras 5.44 e 5.45.



Figura 5.44 – Operário recolhendo argamassa com a caneca de projeção pneumática.



Figura 5.45 – Projeção de argamassa no painel com caneca de projeção pneumática.

Este equipamento é formado por uma unidade de ar comprimido e uma caneca conectada a central por uma mangueira, que o operário manuseia para executar a projeção. O operário, com a caneca, recolhe a argamassa do carrinho, que é posicionada frente ao painel, liberando o ar comprimido, que projeta a argamassa presente, no interior da caneca, à superfície do painel, a parede em execução.

A projeção dos revestimentos aos painéis, teve seu início pelas faces externas das paredes. Na seqüência, e ainda no mesmo dia, era executado a projeção dos revestimentos das faces internas das paredes. Desta forma, se evitou que ocorresse o empenamento do painel, o que poderia vir a acontecer se fosse executado um carregamento diferencial, caso, se feita à projeção do revestimento em uma única face do painel, figuras 5.46 e 5.47.



Figura 5.46 – Produção da argamassa



Figura 5.47 – Argamassamento dos painéis/térreo

Após a projeção, durante os próximos cinco dias, as paredes argamassadas eram umedecidas varias vezes, ao dia, mantendo assim, umidade em suas superfícies.

Concluído o argamassamento dos painéis, no pavimento térreo, teve início a execução do cintamento sobre as paredes, onde foram apoiadas às lajes de piso do pavimento superior. Como ocorreu, anteriormente, no piso térreo, foram colocadas esperas de aço, espaçados, de 50 em 50 cm, para dar ancoragem aos painéis, que dariam forma ao pavimento superior. Concluída a montagem das lajes e colocação das armaduras de ancoragem, procedeu-se a concretagem, demonstrados, nas figuras 5.48 e 5.49 e posterior montagem dos painéis para formação das paredes do segundo pavimento.



Figura 5.48 – Laje de piso (pré-moldada com eps)



Figura 5.49 – Montagem pavimento superior

Nas paredes, que não previam laje, tiveram continuidade dos painéis montados, no pavimento térreo, assim, efetuou-se a montagem dos mesmos na seqüência, ocorrendo, também, o transpasse de armadura entre eles repetindo, então, as etapas de alinhamento, travamento no prumo e argamassamento, como descritos, anteriormente, no pavimento térreo (figuras 5.50 e 5.51).



Figura 5.50 – Montagem painéis pavto. superior



Figura 5.51 – Continuidade painéis paredes

Concluído o argamassamento dos painéis do pavimento superior, como foi feito, anteriormente, nos locais, onde teria laje de cobertura, sobre o banheiro do pavimento superior, pois, estava prevista a colocação da caixa d'água, o processo de cintamento, colocação de laje, armadura de ancoragem e concretagem ocorreram, como descritos, anteriormente e após a continuidade da montagem dos painéis completando, assim, a parede no nível da cobertura.

5.2.5 Execução da cobertura - madeiramento

Concluída a montagem das paredes e projeção da 1ª. demão do revestimento, teve início a construção da cobertura, com estrutura de madeira e telhas cerâmicas. No madeiramento foram utilizadas bitolas de 8 cm X 16 cm, 6 cm X 12 cm e 2,5 cm X 5 cm, como caibros, terças e ripas e forros, 1 cm X 10 cm, também, em madeira fixados, diretamente, nos caibros, acompanhando o caimento do telhado.



Figura 5.52 – Madeiramento da cobertura



Figura 5.53 – Madeiramento da cobertura

Como se vê, nas figuras 5.52 e 5.53, as terças foram apoiadas, diretamente nos painéis, demonstrando mais uma vez, a simplificação construtiva com o uso de painéis estruturados. Depois de concluída a execução do telhado, foram

colocadas as esquadrias, para, somente, então dar-se início a execução da 2ª e última demão de revestimento, que dará o acabamento final.

5.2.6 Revestimento final dos painéis

O traço adotado, foi também 1:3,5, com relação A/C de 0,30, utilizando o cimento CP V ARI, aditivo plastificante e fibras de polipropileno, diferenciando, porém, utilizando, somente, como agregado areia média. A projeção ocorreu, sequencialmente, nas faces, externa e interna das paredes. Para execução do revestimento final, inicialmente, as paredes foram taqueadas para prumada e, posteriormente, iniciada a projeção da argamassa com auxílio da caneca de projeção como foi demonstrado, anteriormente, na aplicação da 1ª demão. Efetuada a aplicação, a argamassa foi reguada e desempenada, manualmente, como no processo convencional. Após sua conclusão, o revestimento foi umedecido, por várias vezes, durante o dia, por um período de cinco dias consecutivos, garantindo, assim, uma qualidade de cura do revestimento. Como acabamento final, os revestimentos das paredes internas, externas e lajes, receberam aplicação de selador e pintura látex, com execução das paredes das áreas úmidas como banheiros, cozinha e lavanderia, que receberam revestimento cerâmico, até o teto.

5.2.7 Revestimentos e finalização da obra

A complementação da obra com a colocação dos materiais de acabamento como pisos cerâmicos, rodapés de madeira, soleiras de granito, esquadrias internas de madeira e externas de pvc e pinturas, tiveram sua execução, como ocorre nos processos construtivos convencionais, como demonstram as figuras 5.54 e 5.55.



Figura 5.54 – Acabamento externo.



Figura 5.55 – Preparo para pintura

6. RESULTADOS

O processo construtivo apresentou resultados satisfatórios, quanto ao seu desempenho higro-térmico e estrutural. As análises de desempenho térmico foram realizadas através da norma brasileira NBR 15220, de Desempenho Térmico para edificações, do Projeto de Norma 02.136.01.001 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de, até 5 pavimentos, Parte 2 - Estrutura e Parte 4 - Fachadas e Paredes Internas. As análises de desempenho higro-térmico foram realizadas através da norma espanhola NBE-CT-79, "*Norma Básica de lá Edificación, sobre condiciones térmicas em los edificios*",

Analisou-se a construtividade deste sistema, através de estudos de caso, que demonstraram aspectos positivos, quanto à facilidade de aprendizado da nova técnica pelos operários, que executaram as obras. Verificou-se, também, uma significativa redução de desperdícios de materiais, nas obras e rapidez na execução das mesmas.

6.1 QUANTO AO DESEMPENHO HIGRO-TÉRMICO

A verificação do desempenho térmico dos elementos de vedações, paredes e coberturas foram realizadas, de acordo com a norma brasileira - NBR 15220, Desempenho Térmico para edificações, pois, de acordo com a zona bioclimática 3, onde estão localizados os estudos de caso 1 e 2, apresentam o seguinte comportamento: A análise das Capacidades térmicas, Transmitância Térmica e ao Fator Solar, satisfazem as exigências normativas. Quanto ao Atraso Térmico, ambas as vedações apresentaram, no caso 1, atraso térmico superior a 122% e no caso 2, um atraso superior a 66,7% do

valor limite recomendado pela norma. Apresentando-se mais eficiente quanto ao isolamento. Apesar de, a norma recomendar, valores de atraso térmico inferiores, acredita-se que a situação apresentada, com maior capacidade de isolamento, as vedações dos estudos de caso são superiores, proporcionando aos ambientes construídos, com esses elementos de vedação, condições melhores de conforto e maior economia em caso de climatização.

Apesar da norma brasileira não distinguir entre paredes leves e leve-refletoras, pela norma espanhola NBE-CT-79, as paredes utilizadas nos dois estudos de caso, classificam-se, como leves, apresentando peso em torno de 160 kg/m².

A verificação do desempenho térmico global da edificação e dos riscos de condensação, nos elementos de vedação, foi feita pela norma espanhola NBE-CT-79, pois, como já dito, anteriormente, a norma brasileira não prevê estas verificações. Assim, o desempenho térmico é analisado, através da transmitância térmica global " U_G " a qual, no estudo de caso 1, apresentou resultados favoráveis, com valor inferior ao limite " U_{GM} ", estabelecido pela norma. No estudo de caso 2, o resultado obtido, apesar de ter apresentado valor próximo ao limite, não satisfaz as exigências da norma. O fator que pode ter sido determinante, para ter-se este resultado, foi o grande volume interno da edificação, além de outros fatores, que podem ter influenciado, neste resultado como: a maior transmitância das vedações verticais, devido a redução de espessura de poliestireno, comparado com o adotado no outro estudo de caso e a baixa resistência térmica das áreas envidraçadas, que elevaram a transmitância térmica global.

Quanto ao desempenho higró-térmico, os resultados demonstraram, que não ocorre o risco de condensações intersticiais das vedações analisadas para a região de Florianópolis. Pois, as temperaturas médias, mínimas, na condição de inverno são muito elevadas, ficando poucos graus abaixo das temperaturas dos ambientes internos.

6.2 QUANTO AO DESEMPENHO ESTRUTURAL

A avaliação do desempenho estrutural, concentrou-se na Verificação das exigências estabelecidas pelas normas brasileiras da ABNT – Projeto de Norma 02.136.01.001 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de, até 5 pavimentos, Parte 2 - Estrutura e Parte 4 - Fachadas e Paredes Internas.

Nesta avaliação, realizada com ensaios de corpo mole em painéis de vedação, apresentado desempenho satisfatório com relação às exigências do referido Projeto de Norma. Os painéis demonstraram condições satisfatórias para resistir a impactos externos, de fora para dentro, localizadas no pavimento térreo e para paredes sofrendo impactos internos, quando localizadas as paredes nos demais pavimentos, mantendo-se estáveis, sem apresentar alterações, como fissuras, falhas e rupturas, de qualquer espécie. Na avaliação dos deslocamentos horizontais instantâneos “dh” ao comportamento das vedações provocadas pelo corpo impactante, para vedações verticais sem fins estruturais, os valores apresentados foram, também, inferiores aos valores máximos de deslocamento “dh” estabelecidos pelo referido Projeto de Norma, desta forma, comprovando sua aplicação para vedações verticais sem função estrutural.

Nos ensaios de corpo duro os painéis ensaiados, também, atingiram níveis satisfatórios de desempenho para a análise feita. Apresentando estabilidade dos elementos de vedação, painéis ensaiados, apesar dos revestimentos impactados terem atingido ponto de ruína parcial, até o plano, onde estão localizadas as tela de aço existente nos painéis, mantendo a integridade do revestimento a partir deste ponto.

6.3 QUANTO AOS ASPECTOS DE PRODUÇÃO

Quanto aos aspectos de produção dos painéis, observou-se que os processos adotados, demonstraram uma evolução nos estudos de caso analisados. Mostrou, também, viabilidade técnica, quanto à sua produção, apesar de se ter utilizado um processo artesanal.

Constatou-se evolução do processo de fabricação dos painéis, pois, no primeiro estudo de caso, a consolidação do conjunto telas e núcleo de poliestireno ocorreram através de grampos fixados, manualmente. Na segunda obra, essa união passou a ser através de pinos de aço soldados, mostrando-se mais eficiente, quanto à produtividade e estabilidade dos painéis, pois, esta ligação apresenta maior rigidez em relação à realizada, anteriormente.

Os materiais constituintes dos painéis do sistema construtivo por possuírem grandes dimensões e por apresentarem peso reduzido, proporcionam rapidez de montagem e facilidades de manuseio. Tanto o poliestireno, como as telas de aço, podem ser recortados, dobrados e, também, curvados, demonstrando assim, grande flexibilidade de aplicação do sistema construtivo às diversas obras.

6.4 QUANTO A CONSTRUTIVIDADE DO SISTEMA CONSTRUTIVO

O sistema construtivo formado por argamassa projetada, em painéis compostos por núcleo de poliestireno e telas de aço eletro soldadas, mostrou ser de grande facilidade de manuseio, mesmo tendo painéis de grandes dimensões. Apresenta boa produtividade na execução de obras com painéis do sistema construtivo. Sua flexibilidade de aplicação é elevada, podendo ser utilizado como elementos de vedação vertical e horizontal. O sistema é compatível com a utilização junto a outros sistemas construtivos como de lajes com vigotas pré-moldadas com blocos de poliestireno expandido.

Este sistema utiliza poucos equipamentos e ferramentas para sua execução, podendo, ainda, utilizar as já, usualmente, empregadas nos processos construtivos convencionais. O sistema possibilita a racionalização dos materiais na execução, reduzindo o desperdício de madeiras de fôrmas. As instalações são executadas com redução considerável de mão de obra, pois, o painel possibilita, que sejam executadas pelo próprio instalador, dispensando auxiliares, além de minimizar a produção de entulhos.

Além da grande velocidade de montagem dos painéis, o processo de revestimentos com argamassa, também, possui grande rapidez de execução obtida, através do uso de equipamentos pneumáticos de projeção.

A simplicidade do sistema construtivo foi demonstrada desde o primeiro estudo de caso, onde se observou uma rápida adaptação da mão de obra com suas técnicas construtivas.

Por fim, verificou-se, na execução destas duas obras, que o sistema construtivo com painéis possui grande simplicidade de execução, além de possibilitar redução de desperdícios de materiais na obra, com o reduzido uso de madeira e também com reduzida quantidade de entulho. Acredita-se que este sistema construtivo, além da sua viabilidade técnica, possibilita uma execução rápida e racionalizada, de modo a atender às exigências das construções contemporâneas e das normas vigentes.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO ARGENTINA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO - AAPE - **La Asociación Argentina de Poliestireno Expandido**, Buenos Aires, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - Projeto 02:136.01.001 – **Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. ABNT. 2001.

_____ – ABNT - Projeto 02:136.01.004 – **Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 4: Fachadas**. Rio de Janeiro. ABNT. 2001.

_____ – ABNT – NBR 7171 – **Bloco cerâmico para alvenaria - Especificação**. Rio de Janeiro. ABNT. 1992.

_____ – ABNT – NBR 11752 – **Materiais Celulares para isolamento térmico da Construção Civil e Câmaras frigoríficas**. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 7973 – **Determinação de absorção d'água – Método de ensaio**. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 8081 – **Permeabilidade ao vapor d'água – Método de ensaio**. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 8082 – **Resistência a compressão – Método de ensaios**. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 10411 – **Inspeção e amostragem de isolantes térmicos – Procedimento**. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 11948 – **Ensaio de flamabilidade** - Método de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 11949 – **Determinação da massa específica** - Método de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 12094 – **Determinação de condutividade térmica** - Método de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT

_____ – ABNT – NBR 9062 – **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro. ABNT. 2001.

_____ – ABNT - NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

_____ – ABNT - NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

ABRAPEX / PINI, **Manual de utilização do EPS na Construção Civil**, São Paulo.

ABRAPEX – **O EPS na Construção Civil**. São Paulo. 1998.

ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO - ACEPE – **Fabrico do EPS**. www.acepe.pt, Lisboa, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM C-203 – **Test method for breaking load and flexural properties of block-type thermal insulation**

BARTH. F. **Las fachadas de hormigón arquitectónico y GRC: Aplicación y compoetamiento de los cerrameientos prefabricados**. 1997. (Doutorado em Arquitetura) – ETSABUPC, Barcelona. ES. 1997.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. **Tecnologia de Fachadas Pré-Fabricadas – LETRAS CONTEMPORÂNEAS**, 2007, Florianópolis.

CASSAFORMA (1985), **Memorial Descritivo**. Fonte [www.cassaforma.com .ar](http://www.cassaforma.com.ar), acessado em 11/11/2006.

CASSAFORMA (1985), **Instrucciones para la ejecucion de obra**. Fonte [www.cassaforma.com .ar](http://www.cassaforma.com.ar), acessado em 11/11/2006.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION - CIRIA – **Wall technology**. Volume B: Loadbearing smal units. Special publication 87. London, UK. CIRIA. 1992.

EMMEDUE, (2006), **Advanced Building System**, Italy. Fonte: [www. mdue.it](http://www.mdue.it).

EMMEDUE,(2006), **Documentazioni**, Italy. Fonte: [www. mdue.it](http://www.mdue.it).

FRIDULSA, (2006), **La construcción con FRIDULSA**, Montevideo,Uruguay. Fonte: www.fridulsa.com.uy.

LAMBERTS, R et. al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R, GUISI, E. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: UFSC, 2000.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO - NBE-CT-79 – **Norma básica de la edificación: Condiciones térmicas en los edificios**. 1. ed. Madrid. ES. Ministerio de Obras Publicas Y Urbanismo. 1979.

MITIDIERI, C.V.F. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações – proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

MONOPLAC (2006) - **Sistema Constructivo Monoplac**, Chile. Fonte:
www.monoplac.cl

QUENARD, D., SALLEE, H. Water Vapour adsorption and transfer in cement based materials: a network simulation. **Materials and structures**, n 25. p. 515-522, 1992.

REZENDE, M. A. P.; ABIKO, A. K. **Fatores da Inovação Tecnológica nas Edificações**. Anais do 10º. ANTAC, Encontro Nacional do Ambiente Construído, São Paulo, junho 2004

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. 1980.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. 1976.

SABBATINI, F. H. **A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial?** In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, 1998, São Paulo.

SIQUEIRA JÚNIOR, A. A. de. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês-porcelanato**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

VEFAGO, L. H. M. **Fachadas pré-fabricadas em argamassa reforçada com fibra de vidro em três estudos de caso na grande porto alegre**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismos) – UFSC, Florianópolis, 2006.

8. ANEXOS

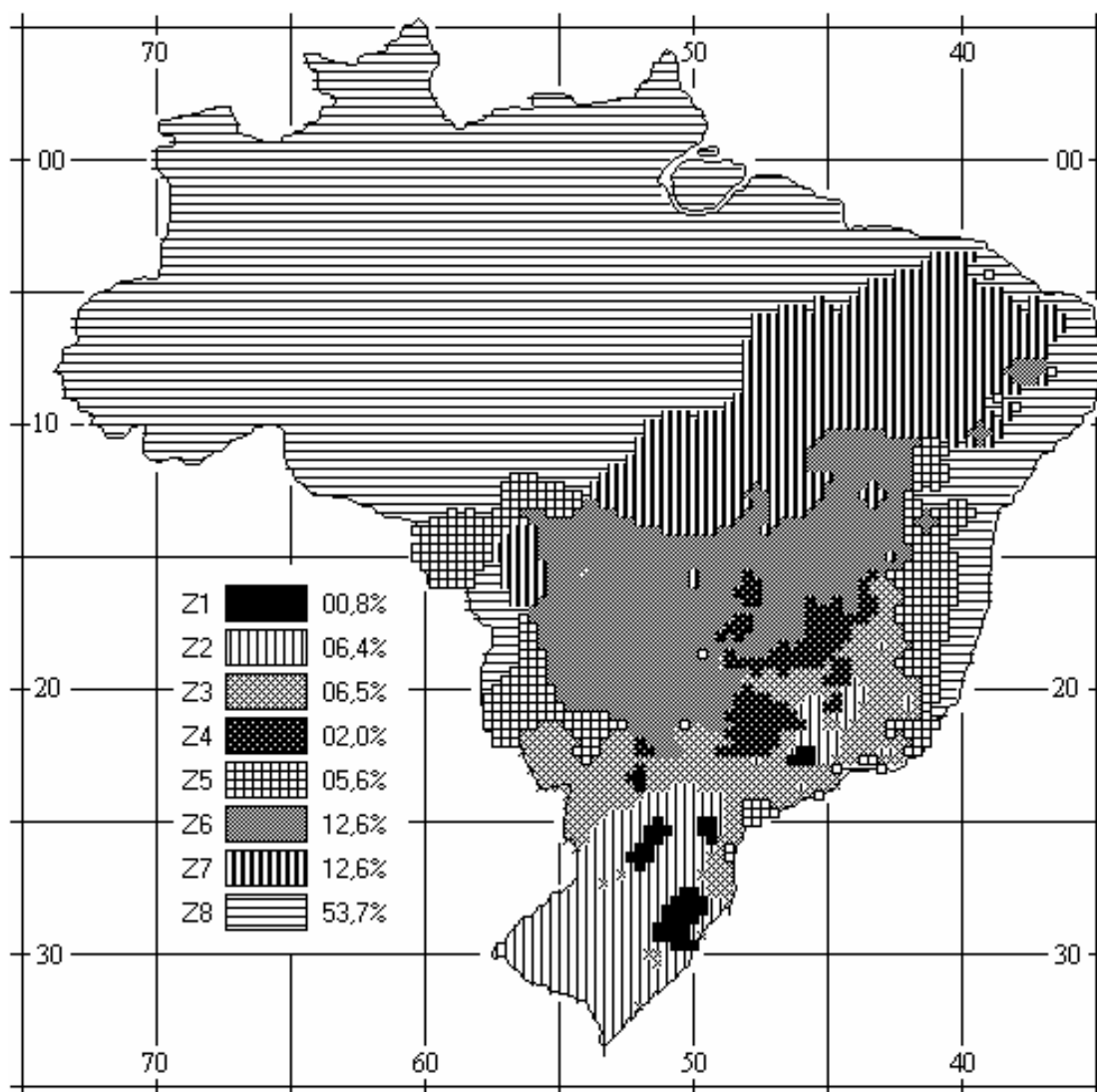


Figura 8.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro - NBR 15220

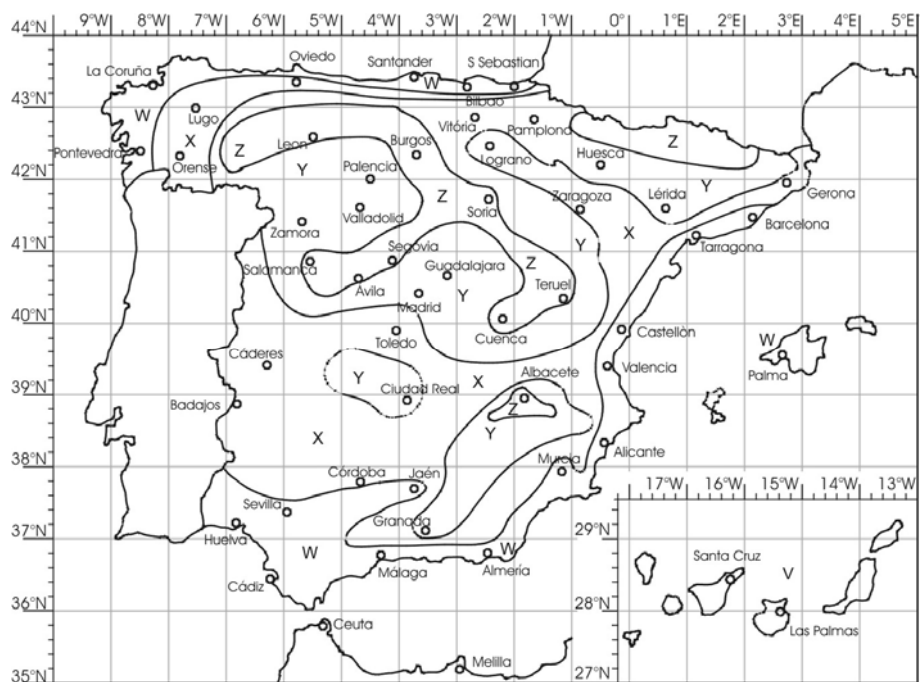


Figura 8.2 – Mapa do zoneamento climático espanhol por temperaturas médias mínimas / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica global da vedação.

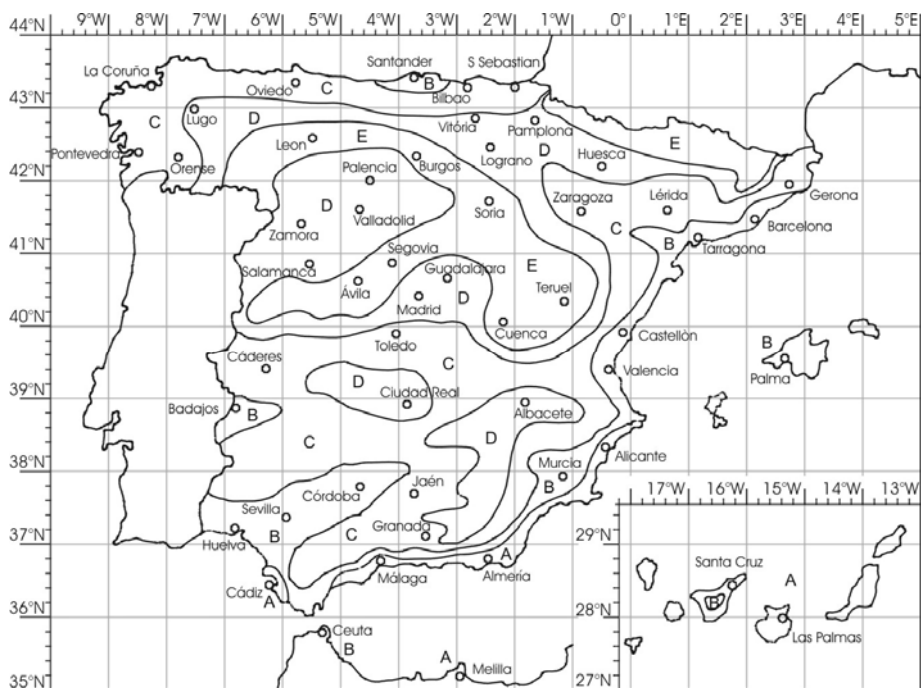


Figura 8.3 – Mapa do zoneamento climático espanhol por graus por dia / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica global do edifício

Tabela 8.1 – Valores de condutividade térmica obtida através da NBR 15220 e valores de resistividade ao vapor de água, obtidos através da NBE-CT-79 Utilizados nos cálculos do desempenho térmico.

	Argamassa	Poliestireno expandido
Condutividade (W/mK)	1,15	0,04
Resistividade (MNs/gm)	60	173

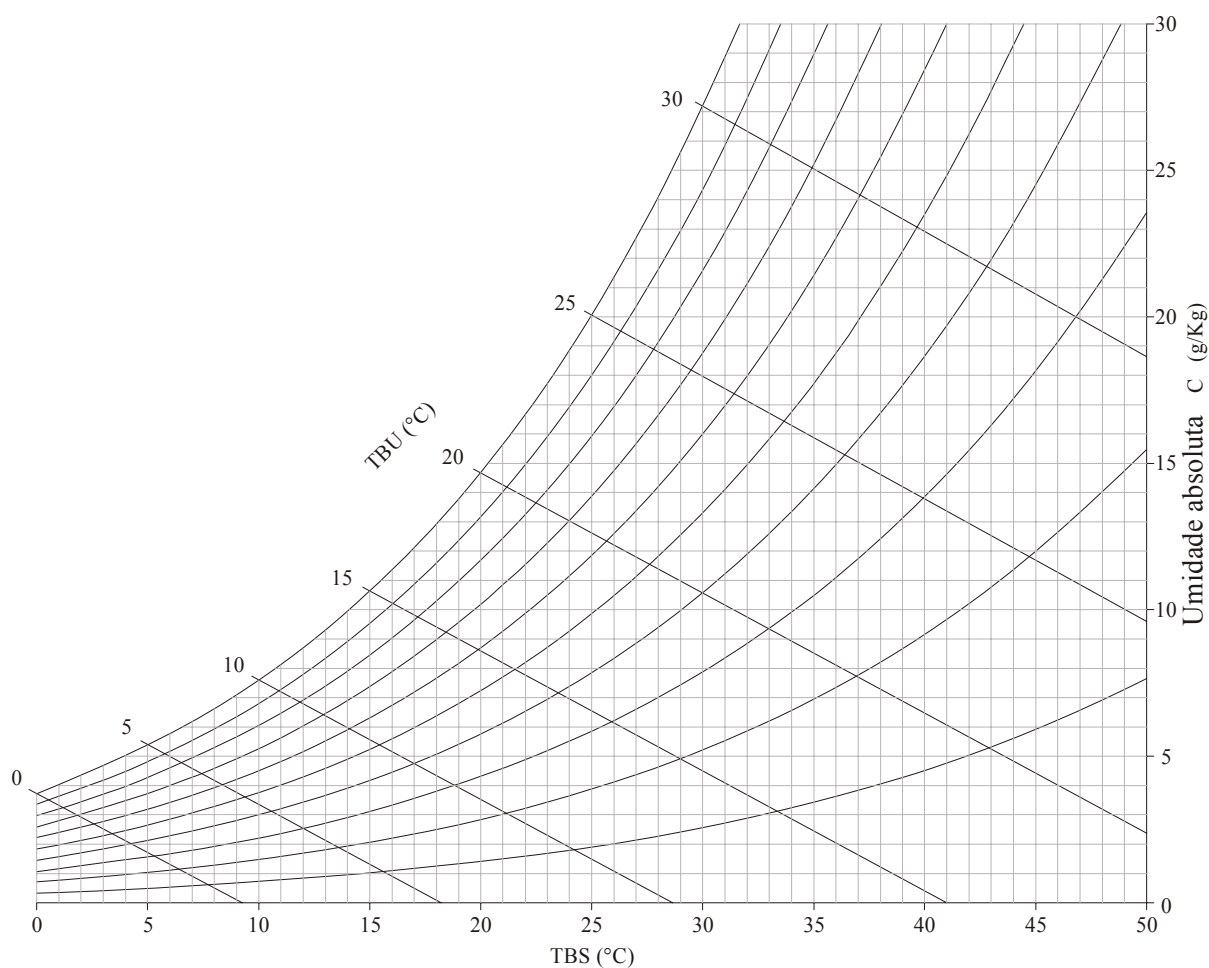


Figura 8.4 – Ábaco psicrométrico para a determinação das temperaturas de condensação e do conteúdo de umidade contido no ar.