



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Avaliação de Desempenho de Sistemas Racionalizados de  
Vedação para Edifícios com Estruturas Metálicas**

**Tatiana Camargo Alves Pereira**

**Vitória, 2001**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Avaliação de Desempenho de Sistemas Racionalizados de  
Vedação para Edifícios com Estruturas Metálicas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

**Tatiana Camargo Alves Pereira**  
**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maristela Gomes da Silva**

**Tatiana Camargo Alves Pereira**

**Avaliação de Desempenho de Sistemas Racionalizados  
de Vedação para Edifícios com Estruturas Metálicas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 27/07/2001 por:

---

Prof<sup>a</sup>. Maristela Gomes da Silva.

UFES (Orientadora)

---

Prof. Luiz Herkenhoff Coelho.

UFES (Examinador Interno)

---

Prof<sup>a</sup>. Cláudia Terezinha de Andrade Oliveira.

USP (Examinador Externo)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P436a           Pereira, Tatiana Camargo Alves, 1968-  
                  Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de  
                  vedação para edifícios com estruturas metálicas / Tatiana  
                  Camargo Alves Pereira. – 2001.  
                  xix, 127f. : il.

                  Orientadora: Maristela Gomes da Silva.  
                  Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Espírito  
                  Santo, Centro Tecnológico.

                  1. Construção – Desempenho. 2. Vedação (Tecnologia). 3.  
                  Estruturas metálicas. 4. Painéis de parede. I. Silva, Maristela  
                  Gomes da. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro  
                  Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

---

*À minha família, pelo apoio, carinho e incentivo, dedico esta pesquisa*

## *Agradecimentos*

É muito gratificante dividir a minha alegria e o meu esforço. Isto prova que tive parceiros,  
amigos, aliados...

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maristela Gomes da Silva, pela orientação, pela confiança, pelo crédito imediato,  
pela exigência que me fez buscar cada vez mais um padrão de qualidade, pela abertura de  
compartilhar da sua convivência nesse período, pelo exemplo de profissionalismo e por me  
mostrar a cada dia que este trabalho seria concretizado.

Aos professores do Mestrado, pela parcela importantíssima na construção do meu  
conhecimento.

Aos Institutos de Pesquisa, Escritórios de Arquitetura, Construtoras e Fabricantes, pela  
acolhida amigável, pela contribuição fundamental para a realização da pesquisa.

Aos colegas do Mestrado, pela amizade, força, cumplicidade nos momentos mais difíceis,  
pela alegria e descontração, tão necessárias ao nosso dia a dia. Reservo um agradecimento  
especial a Milton e a Geórgia.

Aos alunos de iniciação científica, pela grande ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

À Vanessa Gomes da Silva, pelo apoio técnico, pela troca de informações, pelo  
desprendimento com que sempre me socorreu na coleta de dados.

Não poderia esquecer do Roberto, secretário do Mestrado, pela amizade, paciência e presteza  
com que sempre me atendeu.

À Célia, pelo apoio, pelo carinho, pela certeza do sucesso e que mais uma vez me mostrou ser  
uma pessoa tão especial.

À CST, através do NEXEM, representados aqui por Luiz Carlos Fundão Pimenta (CST), Prof.  
Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama e Prof. Pedro Augusto Cesar de Oliveira Sá  
(UFES), por financiar esta pesquisa, através da concessão de bolsa e recursos adicionais para  
realização de pesquisas.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse  
construído.

A Deus, por me fazer sentir acolhida, ouvida, estimulada a continuar, por manter acesa em  
mim a fé, que foi fundamental para enfrentar os momentos difíceis.

Muito obrigada!

*O desafio mais importante de nossos dias é o encerramento de uma época de continuidade – época em que cada passo fazia prever o passo seguinte – é o advento de uma era de descontinuidade, onde o imprevisível é o pão de cada dia para os homens, para as organizações, para a humanidade como sistema.*

*Peter Drucker*



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<i>xi</i>
<b>LISTA DE QUADROS</b>	<i>xiv</i>
<b>LISTA DE FOTOS</b>	<i>xvi</i>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	<i>xvii</i>
<b>RESUMO</b>	
<b><i>ABSTRACT</i></b>	
<b><u>1. INTRODUÇÃO</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b>1.1 CONTEXTO DA PESQUISA</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
1.2.1 OBJETIVO GERAL	7
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
<b>1.3 METODOLOGIA</b>	<b>8</b>
<b>1.4 JUSTIFICATIVA</b>	<b>10</b>
<b>1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO</b>	<b>11</b>
<b><u>2. REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS</u></b>	<b><u>13</u></b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2.2 A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO</b>	<b>14</b>
<b>2.3 ESTÁGIO DA NORMALIZAÇÃO DE DESEMPENHO PARA VEDAÇÕES VERTICAIS</b>	<b>17</b>
<b>2.4 SEGURANÇA ESTRUTURAL</b>	<b>19</b>
2.4.1 PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES DAS VEDAÇÕES VERTICAIS	19
2.4.2 REQUISITOS DE DESEMPENHO	19
2.4.3 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	22
<b>2.5 SEGURANÇA CONTRA FOGO</b>	<b>24</b>
2.5.1 REQUISITOS DE DESEMPENHO	24
2.5.2 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	25
<b>2.6 ESTANQUEIDADE À ÁGUA</b>	<b>29</b>
2.6.1 REQUISITOS DE DESEMPENHO	29

## Sumário

2.6.2	AÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA NAS EDIFICAÇÕES	30
2.6.3	CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	32
<b>2.7</b>	<b>CONFORTO TÉRMICO</b>	<b>33</b>
2.7.1	REQUISITOS DE DESEMPENHO	33
2.7.2	INDICADORES DE DESEMPENHO TÉRMICO	35
2.7.3	CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	36
<b>2.8</b>	<b>CONFORTO ACÚSTICO</b>	<b>37</b>
2.8.1	PRINCÍPIOS DA PROPAGAÇÃO DO SOM	37
2.8.2	REQUISITOS DE DESEMPENHO	39
2.8.3	CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	40
<b>2.9</b>	<b>DURABILIDADE E ECONOMIA</b>	<b>41</b>
2.9.1	REQUISITOS DE DESEMPENHO	41
2.9.2	CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	43
<b>2.10</b>	<b>CRITÉRIOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO PARA VEDAÇÕES VERTICAIS</b>	<b>44</b>
<b>2.11</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO</b>	<b>46</b>
<b>3. PAINÉIS DE CONCRETO</b>		<b>48</b>
<hr/>		
<b>3.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>48</b>
<b>3.2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS DE CONCRETO</b>	<b>51</b>
<b>3.3</b>	<b>ASPECTOS DE FABRICAÇÃO E DE PRODUÇÃO QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO</b>	<b>51</b>
3.3.1	ACABAMENTOS NOS PAINÉIS DE CONCRETO	55
<b>3.4</b>	<b>ASPECTOS DE PROJETO E DE MONTAGEM QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO</b>	<b>56</b>
3.4.1	GEOMETRIA E MODULAÇÃO	56
3.4.2	INFLUÊNCIA DAS JUNTAS NO DESEMPENHO DOS PAINÉIS	59
3.4.3	INFLUÊNCIA DA MONTAGEM E FIXAÇÃO NO DESEMPENHO DOS PAINÉIS	66
<b>3.5</b>	<b>DESEMPENHO DOS PAINÉIS DE CONCRETO</b>	<b>74</b>
3.5.1	SEGURANÇA	74
3.5.2	HABITABILIDADE	75
3.5.3	DURABILIDADE	77
<b>3.6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO</b>	<b>79</b>
<b>4. PAINÉIS DE GRC</b>		<b>80</b>
<hr/>		
<b>4.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>80</b>

<b>4.2</b>	<b>TIPOS E CARACTERÍSTICAS DE PAINÉIS DE GRC</b>	<b>84</b>
<b>4.3</b>	<b>ASPECTOS DE FABRICAÇÃO E DE PRODUÇÃO QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO</b>	<b>87</b>
4.3.1	PROCESSOS DE PRODUÇÃO	87
4.3.2	FORMULAÇÃO E PROPRIEDADES TÍPICAS DE PAINÉIS DE GRC	92
4.3.3	ACABAMENTOS EM PAINÉIS DE GRC	95
<b>4.4</b>	<b>ASPECTOS DE PROJETO E DE MONTAGEM QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO</b>	<b>97</b>
4.4.1	GEOMETRIA E MODULAÇÃO	97
4.4.2	INFLUÊNCIA DAS JUNTAS NO DESEMPENHO DOS PAINÉIS DE GRC	101
4.4.3	INFLUÊNCIA DA MONTAGEM E FIXAÇÃO NO DESEMPENHO DOS PAINÉIS DE GRC	103
<b>4.5</b>	<b>DESEMPENHO DOS PAINÉIS DE GRC</b>	<b>105</b>
4.5.1	SEGURANÇA	107
4.5.2	HABITABILIDADE	110
4.5.3	DURABILIDADE	112
<b>4.6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO</b>	<b>113</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>		<b>115</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>119</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Exemplo de uma edificação em estrutura metálica com vedação em painéis de concreto, Boston – EUA.	2
<b>Figura 2.1:</b> Corte esquemático de uma fachada de painéis-cortina mostrando a descontinuidade na compartimentação vertical e o detalhamento do encontro da fachada com a laje.	29
<b>Figura 2.2:</b> Umedecimento de fachada com concentração de umidade na região próxima ao topo e às arestas das fachadas.	31
<b>Figura 2.3:</b> Características de migração do fluxo da água superficial, conforme a taxa de incidência.	32
<b>Figura 2.4:</b> Ilustração que mostra algumas fontes de ruído.	38
<b>Figura 3.1:</b> Etapas da produção de painéis de concreto: (a) produção do molde de madeira; notar em (b) o escoramento lateral para evitar empenamento lateral; (c) armação do painel; (d) exposição de agregado através de banho de ácido.	53
<b>Figura 3.2:</b> Três alternativas de tipos de moldes: (a) <i>face up</i> (face acabada para cima); (b) <i>face down</i> (face acabada para baixo); e (c) <i>tilting</i> (moldes inclinados).	54
<b>Figura 3.3:</b> Ajuste de moldes para tamanhos variados de painéis.	55
<b>Figura 3.4:</b> Exemplos de acabamentos em painéis de concreto: (a) agregado exposto polido, (b) e (c) agregado exposto polido e pigmentado.	56
<b>Figura 3.5:</b> Esquemas de enrijecedores verticais e horizontais.	59
<b>Figura 3.6:</b> Detalhe em corte da junta horizontal.	61
<b>Figura 3.7:</b> Principais elementos da junta aberta de drenagem: (a) corte do painel; (b) detalhe de fixação das faixas de neoprene utilizando pinos de aço inoxidável; (c) detalhe em planta do entalhe para colocação da faixa de neoprene com ou sem drenagem.	62
<b>Figura 3.8:</b> Detalhe em corte de alternativas de posições dos tubos de drenagem.	62
<b>Figura 3.9:</b> Espuma de polietileno usada para corrigir a profundidade do selante.	64
<b>Figura 3.10:</b> Evitar juntas nesta localização em painéis de concreto.	66
<b>Figura 3.11:</b> Montagem de painéis de concreto(a) içamento de um painel de concreto, foto tirada de um edifício em construção, Estocolmo; (b) montagem de painéis de concreto utilizando escoras provisórias.	67
<b>Figura 3.12:</b> Fixação de painéis de concreto.	68

<b>Figura 3.13: Detalhe da geometria da base horizontal de apoio em função do elemento de fixação utilizado: (a) pinos; (b) cantoneiras.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 3.14: Detalhe do sistema de fixação no topo do painel de concreto.</b>	<b>70</b>
<b>Figura 3.15: Seqüência de montagem do sistema de fixação no topo do painel: (a) laje preparada para receber o painel; (b) cantoneira fixada à canaleta metálica para ajuste correto da posição do painel e painel sendo encaixado no <i>insert</i>; (c) parafuso horizontal fixando o painel à cantoneira e pequenos ajustes feitos para o alinhamento do painel; (d) guindaste removido após colocação de <i>grout</i> que fixa o painel na laje de concreto; (e) base horizontal de apoio do painel preparada para receber o painel superior; (f) parafusos fixando o painel ao painel superior e retirada da cantoneira fixada à canaleta metálica após o endurecimento do <i>grout</i>.</b>	<b>71</b>
<b>Figura 3.16: Detalhe do sistema de fixação na base do painel de concreto.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 3.17: Seqüência de montagem do sistema de fixação na base do painel: : (a) laje preparada para receber o painel; (b) cantoneira fixada à canaleta metálica para ajuste correto da posição do painel e painel sendo encaixado no <i>insert</i>; (c) parafuso horizontal fixando o painel à cantoneira; (d) parafuso fixando a parte superior do painel à estrutura metálica; (e) guindaste removido após colocação de <i>grout</i> que fixa a base do painel à laje de concreto; (f) cantoneira e parafuso fixados à canaleta metálica removidos após o endurecimento do <i>grout</i>.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 3.18: Detalhe de fixação de painéis sem a base horizontal de apoio.</b>	<b>73</b>
<b>Figura 3.19: Isolamento físico entre metais não similares.</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.20: Detalhe em planta da adoção de descontinuidade entre o painel de concreto externo e a divisória interna para a redução e/ou a completa eliminação das pontes termo-acústicas.</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4.1: (a) Painel GRC com enrijecimento incorporado; (b) Painel GRC enrijecido por uma estrutura metálica leve (<i>stud frame</i>).</b>	<b>85</b>
<b>Figura 4.2: Passagem de tubulações na cavidade entre os painéis de revestimento e o paramento interno.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4.3: Diferentes formas e dimensões estão disponíveis para painéis reforçados com fibra de vidro.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4.4: Esquema em corte da projeção indireta (<i>spray-suction</i>).</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4.5: Esquema em corte do bico utilizado na projeção direta (<i>spray-up</i>).</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4.6: Equipamento para projeção mecânica.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4.7: Painel sendo produzido por projeção e adensamento manual.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4.8: Variabilidade da espessura projetada manual e automaticamente.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4.9: Nervuras para enrijecimento de painéis GRC.</b>	<b>91</b>

<b>Figura 4.10: Posicionamento e incorporação do enrijecimento metálico a painéis GRC.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 4.11: Acabamentos superficiais para painéis de GRC.</b>	<b>96</b>
<b>Figura 4.12: Influência da geometria dos painéis sobre a natureza das tensões atuando na camada de GRC.</b>	<b>99</b>
<b>Figura 4.13: Flexibilidade de projeto: os painéis de cimento reforçado com fibras de vidro admitem diversas formas, cores, texturas e acabamentos.</b>	<b>99</b>
<b>Figura 4.14: Painel com esquadria recuada em relação ao plano da fachada.</b>	<b>100</b>
<b>Figura 4.15: Dimensões e aberturas em relação a modulação dos painéis em GRC.</b>	<b>100</b>
<b>Figura 4.16: Detalhe típico de juntas entre painéis: (a) junta de canto do painel; (b) junta entre painéis.</b>	<b>101</b>
<b>Figura 4.17: Enrijecimento metálico leve nos painéis em GRC.</b>	<b>103</b>
<b>Figura 4.18: Esquema típico de ancoragens de fixação em painéis de GRC enrijecidos por uma estrutura metálica leve.</b>	<b>104</b>
<b>Figura 4.19: Esquema de fixação de painéis com enrijecedores incorporados.</b>	<b>105</b>
<b>Figura 4.20: Sub-componentes do sistema de vedação dos painéis de GRC mais utilizados.</b>	<b>106</b>
<b>Figura 4.21: Detalhes das juntas e do isolamento em painéis de GRC segundo o nível de proteção contra incêndio.</b>	<b>109</b>
<b>Figura 4.22: (a) sistema de selagem de juntas duplas; (b) saliência na borda do painel para interceptar o fluxo da água da chuva.</b>	<b>111</b>

## **LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1.1: Barreiras tecnológicas do subsistema vedação vertical.</b>	<b>3</b>
<b>Quadro 1.2: Vantagens e aspectos condicionantes de utilização de vedações pré-fabricadas.</b>	<b>5</b>
<b>Quadro 1.3: Classificação das vedações verticais pré-fabricadas para edifícios com estruturas metálicas.</b>	<b>6</b>
<b>Quadro 1.4: Visitas técnicas realizadas nos EUA, Canadá, Europa e Brasil.</b>	<b>9</b>
<b>Quadro 2.1: Requisitos de desempenho de vedações com base nas exigências dos usuários.</b>	<b>16</b>
<b>Quadro 2.2: Principais instituições internacionais dedicadas ao desempenho de edifícios.</b>	<b>18</b>
<b>Quadro 2.3: Critérios de segurança sugeridos para vedação interna.</b>	<b>22</b>
<b>Quadro 2.4: Critérios de segurança sugeridos para vedação externa sem função estrutural.</b>	<b>23</b>
<b>Quadro 2.5: Critérios de reação ao fogo e resistência ao fogo para vedações verticais.</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 2.6: Critérios de estanqueidade para vedações verticais.</b>	<b>33</b>
<b>Quadro 2.7: Critérios de desempenho térmico para vedações externas no Brasil.</b>	<b>37</b>
<b>Quadro 2.8: Grau de poluição sonora conforme o nível sonoro contínuo equivalente (<math>L_{eq}</math>) medido no local de implantação.</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 2.9: Critérios relativos à durabilidade das vedações verticais.</b>	<b>44</b>
<b>Quadro 2.10: Critérios mínimos de desempenho sugeridos para vedações verticais sem função estrutural.</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 3.1: Vantagens e desvantagens dos painéis de concreto.</b>	<b>49</b>
<b>Quadro 3.2: Espessuras típicas dos painéis pré- moldados de concreto segundo seu comprimento.</b>	<b>57</b>
<b>Quadro 3.3: Variação do cobrimento externo de acordo com a resistência do concreto para o atendimento de segurança estrutural e durabilidade do painel.</b>	<b>58</b>
<b>Quadro 3.4: Características dos tipos de selantes.</b>	<b>63</b>
<b>Quadro 3.5: Dimensões mínimas e máximas da largura e da profundidade da junta para painéis de concreto.</b>	<b>65</b>
<b>Quadro 3.6: Dimensões mínimas das bases horizontais de apoio.</b>	<b>69</b>
<b>Quadro 3.7: Dimensões mínimas de painéis de concreto para período de resistência ao fogo.</b>	<b>75</b>
<b>Quadro 4.1: Vantagens e desvantagens da utilização dos painéis de GRC.</b>	<b>81</b>
<b>Quadro 4.2: Características dos processos utilizados na produção de componentes GRC.</b>	<b>87</b>

<b>Quadro 4.3: Propriedades da projeção direta e indireta.</b>	<b>88</b>
<b>Quadro 4.4: Formulação típica de misturas GRC empregadas na produção de painéis de fachada.</b>	<b>93</b>
<b>Quadro 4.5: Propriedades típicas de painéis GRC aos 28 dias.</b>	<b>95</b>
<b>Quadro 4.6: Características dos tipos de selantes.</b>	<b>102</b>
<b>Quadro 4.7: Critérios sugeridos para vedação externa em painéis de GRC.</b>	<b>108</b>
<b>Quadro 4.8: Características das dimensões do painel de GRC à pressão do vento.</b>	<b>109</b>
<b>Quadro 4.9: Resistência ao fogo de sistemas de painéis de GRC com isolamento 12,5 cm em fibra mineral – TFB.</b>	<b>110</b>

## **LISTA DE FOTOS**

<b>Foto 3.1: Boathouse at Sawyer Point Cincinnati, Ohio.</b>	<b>50</b>
<b>Foto 3.2: Commissioners of Republic Works Administrative Offices Charleston, South Carolina.</b>	<b>50</b>
<b>Foto 3.3: Arc de La Defense, Paris.</b>	<b>50</b>
<b>Foto 3.4: Edifício em painel de concreto, Paris.</b>	<b>50</b>
<b>Foto 3.5: Shopping Center, Boston.</b>	<b>50</b>
<b>Foto 3.6: Ed. Night Building, São Paulo.</b>	<b>50</b>
<b>Foto 4.1: Gulf Oil Exploration and Production Company Building, Texas.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.2: Trans Pacific Centre, Oakland, Califórnia.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.3: De Anza Corporate Center, Cupertino, Califórnia.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.4: Cervantes Convention Center, Saint Louis, Missouri.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.5: San Francisco Marriott Hotel, Califórnia.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.6: 720 Market Street, San Francisco, Califórnia.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.7: Tacoma Financial Center, Washington.</b>	<b>82</b>
<b>Foto 4.8: Mid-Continent Tower, Oklahoma.</b>	<b>83</b>
<b>Foto 4.9: Wilshire Palm Office Building, Beverly Hills, Califórnia.</b>	<b>83</b>
<b>Foto 4.10: Frisco Building, Montana.</b>	<b>83</b>
<b>Foto 4.11: Fairmont Hotel, Califórnia.</b>	<b>83</b>
<b>Foto 4.12 : Detalhes do Fairmont Hotel, San Francisco, Califórnia.</b>	<b>83</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ABNT</b>	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
<b>ASTM</b>	<i>American Concrete Institute</i>
<b>CIB</b>	<i>International Council for Research and Innovation in Building and construction</i>
<b>CIRIA</b>	<i>Construction Industry Research and Information</i>
<b>CRV</b>	<i>Cimento Reforçado com Fibra de Vidro</i>
<b>FIP</b>	<i>Fédération Internationale de la Précontrainte</i>
<b>GRC</b>	<i>Glassfibre Reinforced Cement</i>
<b>GRCA</b>	<i>The Glassfibre Reinforced Cement Association</i>
<b>IEL</b>	<i>Instituto Euvaldo Lodi</i>
<b>IPT</b>	<i>Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo</i>
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>LNEC</b>	<i>Laboratório Nacional de Engenharia Civil</i>
<b>NEXEM</b>	<i>Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mistas</i>
<b>PCI</b>	<i>Precast/Prestressed Concrete Institute</i>
<b>SCI</b>	<i>The steel construction Institute</i>
<b>UEAtc</b>	<i>Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction</i>
<b>UFES</b>	<i>Universidade Federal do Espírito Santo</i>
<b>UFSC</b>	<i>Universidade Federal de Santa Catarina</i>
<b>UFRGS</b>	<i>Universidade Federal do Rio Grande do Sul</i>
<b>UNICAMP</b>	<i>Universidade Estadual de Campinas</i>
<b>USP</b>	<i>Universidade de São Paulo</i>

# AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS RACIONALIZADOS DE VEDAÇÃO PARA EDIFÍCIOS COM ESTRUTURAS METÁLICAS<sup>1</sup>

Tatiana Camargo Alves Pereira<sup>2</sup>

## RESUMO

O emprego de estruturas metálicas é apontado como uma das potenciais alternativas para a industrialização da construção civil por favorecer a retirada de uma série de atividades do canteiro de obras, ao mesmo tempo em que alia qualidade à racionalização e ao desenvolvimento de novos sistemas construtivos. O uso de estruturas em aço, em escala internacional, encontra-se há muito consolidado e alicerçado no desenvolvimento contínuo de sistemas eficientes de vedação. No panorama nacional, contudo, a utilização das estruturas em aço é incipiente e muito inferior à capacidade instalada do parque siderúrgico brasileiro.

A mesma velocidade de execução, que se torna decisiva quando a redução do ciclo de construção é determinante, depara-se com a carência de tecnologias para a execução de vedações, lajes e divisórias internas - fator que tem sido apontado como uma das principais dificuldades a serem transpostas para viabilizar o emprego generalizado de construções metálicas no Brasil. O uso intensivo da alvenaria tradicional, não racionalizada, distancia-se dos conceitos de montagem industrial e precisão dimensional que caracterizam o emprego de estruturas metálicas. A adoção de estruturas metálicas no Brasil, portanto, está condicionada ao desenvolvimento de sistemas construtivos racionalizados ou mesmo inovadores para a vedação do edifício. A divulgação dessas alternativas e a capacitação de profissionais responsáveis pelo planejamento, projeto e execução de sistemas construtivos em estruturas metálicas também adquire importância fundamental nesse contexto.

A partir de revisão bibliográfica e visitas técnicas, no Brasil e no exterior, com objetivo de levantar alternativas e informações técnicas sobre painéis pré-fabricados para vedações de edifícios com estruturas metálicas, bem como da identificação de requisitos e critérios de desempenho de vedações verticais, foram estudados os painéis de concreto, os painéis de GRC (cimento reforçado com fibras de vidro), os painéis metálicos, as cortinas de vidro e os painéis de gesso acartonado por possuírem um elevado grau de industrialização e acompanharem a velocidade de execução de edifícios com estruturas metálicas.

Dentre as principais alternativas identificadas, optou-se pelos painéis de concreto e painéis de GRC como objeto de análise desta dissertação por possuírem características propícias à produção de edifícios com estruturas metálicas, serem alternativas de vedações verticais externas em matriz cimentícia e apresentarem diferenças de densidade superficial que os classificam como painéis pesados e leves, respectivamente. Diante do exposto, o principal objetivo desta dissertação é, a partir de uma avaliação de desempenho de vedações verticais e levantamento de requisitos e critérios, analisar os painéis de concreto e painéis de GRC contemplando os aspectos de projeto, produção e montagem com ênfase em desempenho.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, sob orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maristela Gomes da Silva.

<sup>2</sup> Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFES, pesquisadora do Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mistas – NEXEM. E-mail: [taticape@escelsa.com.br](mailto:taticape@escelsa.com.br)

# PERFORMANCE ASSESSMENT FOR RATIONALIZED SYSTEMS OF VERTICAL ENCLOSURES FOR STEEL-FRAMED BUILDINGS

Tatiana Camargo Alves Pereira

## ABSTRACT

The steel-framed structure is regarded as one of the potential alternatives to combine rationalization and speed for building production and for favoring the withdrawal of a series of activities of the site, while uniting quality to rationalization and to the development of a new constructive system. At an international level, the use of steel-frame has long been consolidated in the continuous development of efficient systems of external vertical enclosures.

In Brazil, however, the use of steel-frame is incipient. The intensive use of traditional built construction and workforce quality generate waste and lack of compatibility between design and construction stages. Independently of the framing system chosen, vertical enclosure and partition subsystem were pointed out as the most important technological barriers to be transported in order to reach higher levels for building construction rationalization.

This acknowledgement was decisive to encourage recent efforts to introduce rationalized systems, already available in foreign countries, into Brazilian market.

Thus a series of technical visits to the United States, Canada, France, Sweden and Belgium complemented an intensive review of literature and highlighted the main categories of panelized façade systems such as concrete panels, glass fiber reinforced cement - GRC panels, metallic panels, curtains wall and gypsum wallboard. Amongst the main alternatives identified, concrete panels and GRC panels were selected as objects of analysis of this research for possessing propitious features for the production of steel-framed buildings, for being external vertical enclosures and for presenting differences in superficial density, which classifies them as heavy and lightweight panels, respectively.

The aim of this research is, from the performance approach of vertical enclosure perspective, to analyze the concrete panels and GRC panels, taking into consideration the design aspects, production and assembly, as well the requirements and criteria emphasized in the definition of acceptable performance levels.



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto da pesquisa

A indústria de construção civil mundial encontra-se em um momento claramente dedicado à busca e à implementação de estratégias de modernização do setor, em que a racionalização construtiva tem um papel fundamental.

Nesse sentido, as tendências mais notáveis relacionam-se ao emprego de sistemas total ou parcialmente pré-fabricados, capazes de maximizar o potencial de racionalização embutido nos processos construtivos (CIB, 1989).

Questões como perdas, atraso tecnológico, prazos, despreparo da mão de obra, não compatibilidade entre projeto e execução são problemas rotineiros que devem ser sanados com a implantação de alternativas de racionalização da produção. Em meio a esse processo de modernização, a preocupação com medidas de racionalização de vedações verticais é crescente devido à carência de alternativas competitivas e eficientes no mercado nacional.

O mercado nacional da construção tem se interessado pelo desenvolvimento de novas tecnologias, dentro de um processo de evolução tecnológica, que possam efetivamente atender à necessidade de um produto final com custos e qualidade adequados à realidade econômica (LORDSLEEM, 1998).

Entretanto, o enraizamento da vedação em alvenaria na cultura construtiva das empresas de construção brasileiras dificulta a introdução de novos sistemas. O interesse por outras alternativas de vedação mostrou-se pequeno até o grande impulso advindo com a introdução dos esquemas de certificação de qualidade, de valor indiscutível. Com a série de normas ISO 9000 (*International Organization for Standardization*), a busca pela redução de perdas e do ciclo de construção reacenderam o interesse por tentativas de racionalização de todos os subsistemas da edificação.

Porém, a construção civil nacional ainda mostra uma clara estagnação no que se refere a sistemas racionalizados de vedação, enquanto que painéis pré-fabricados na construção civil são, freqüentemente, utilizados na Europa, Estados Unidos e Canadá como solução para aliar racionalização à velocidade de produção do subsistema vedação (Figura 1.1). Considerando, especificamente, o mercado para edifícios com estruturas metálicas, esta constatação torna-se particularmente verdadeira.



**Figura 1.1: Exemplo de uma edificação em estrutura metálica com vedação em painéis de concreto, Boston – EUA.**

Em meio a essas constatações, empresas que busquem ganhos de produtividade e diminuição de perdas, para serem competitivas no mercado, precisam necessariamente investir na racionalização da produção das vedações verticais. Nesse sentido, o subsistema vedação vertical passou a ser apontado pelos construtores como um dos principais gargalos tecnológicos da construção de edifícios, principalmente, pela importância para a introdução de novos materiais, componentes e sistemas construtivos, o que foi decisivo para a identificação das barreiras tecnológicas no subsistema vedação vertical que influenciam a competitividade das empresas construtoras. O Quadro 1.1 apresenta as barreiras tecnológicas do subsistema vedação vertical e seus efeitos para a indústria da construção civil com base em resultados de pesquisa realizada no Espírito Santo.

Entretanto, a racionalização construtiva, para ser efetiva, deve ser um procedimento aplicado desde o projeto arquitetônico, conforme constatações de algumas construtoras nacionais que obtiveram excelentes resultados quanto à produtividade, redução de perdas e melhoria da qualidade do produto (BARROS, 1998<sub>b</sub>). É na concepção do edifício que se tem a possibilidade de compatibilizar a vedação vertical com a estrutura, com as esquadrias, com as instalações e com o próprio revestimento.

Assim, os projetos da edificação têm um papel fundamental para a racionalização da construção civil por permitirem o perfeito planejamento do processo produtivo, imprescindível para a industrialização do setor da construção civil (FERREIRA, 1998, PIRES, 1998).

**Quadro 1.1: Barreiras tecnológicas do subsistema vedação vertical (IEL-ES, 1999).**

	<b>Barreiras tecnológicas</b>	<b>Efeitos</b>
<b>Materiais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ausência de especificação detalhada de materiais</li> <li>• problemas de pontualidade e qualidade pelos fornecedores de materiais</li> <li>• problemas relacionados à qualidade dos materiais como padronização e variação dimensional</li> <li>• deficiência na gestão da qualidade</li> <li>• deficiências na divulgação e emprego de painéis leves internos e externos</li> <li>• deficiências na divulgação e emprego de alternativas para esquadrias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diminuição de custos e prazos</li> <li>• aumento de perdas diminuição na qualidade e produtividade</li> <li>• dificuldades na seleção de materiais e controle dos serviços</li> <li>• problemas de interface projeto-obra</li> <li>• problemas de interfaces entre a alvenaria, estrutura e instalações</li> <li>• problemas de higiene e segurança</li> <li>• reduzido emprego de novas opções construtivas</li> <li>• diminuição da vida útil</li> <li>• aumento de intervenções de manutenção</li> <li>• insatisfação do cliente</li> </ul>
<b>Serviços</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deficiências no planejamento operacional</li> <li>• projeto (detalhamento e coordenação com estrutura, vãos e instalações prediais)</li> <li>• projeto para produção</li> <li>• deficiências nas especificações dos serviços</li> <li>• ausência de racionalização da alvenaria</li> <li>• ausência de projetos voltados para o emprego de painéis leves</li> <li>• treinamento da mão-de-obra para instalação de painéis leves</li> <li>• qualificação de mão-de-obra</li> <li>• deficiência na gestão da qualidade</li> </ul>	
<b>Equipamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ausência de ferramentas voltadas à racionalização</li> </ul>	

No Brasil, a racionalização da alvenaria tradicional tem sido a única forma de racionalização das vedações (BARROS, 1998<sub>b</sub>; SABBATINI, 1998<sub>a</sub>). Entretanto, para edifícios em estrutura metálica a racionalização da alvenaria tradicional não é a solução mais apropriada, principalmente nas situações em que a velocidade da execução das vedações verticais seja um fator crítico na construção de edifícios.

O emprego de estrutura metálica na produção de edifícios exige um sistema construtivo com características próprias, que necessariamente deve estar em conformidade com as várias etapas que compõem a construção, desde sua concepção até a sua execução. O profissional que adotar a estrutura metálica irá trabalhar com um subsistema industrializado que exige que todos os problemas sejam pensados, analisados e resolvidos na elaboração do projeto.

É imperativo propor mudanças nas vedações dos edifícios através da introdução de novas alternativas ou da racionalização das alternativas já existentes, de modo a aumentar a produtividade e a competitividade do setor, visto que evoluir tecnologicamente no setor construtivo é uma ação dependente do desenvolvimento dos meios de produção (SABBATINI 1989; FRANCO, 1998<sub>a</sub>; SABBATINI, 1998<sub>a</sub>).

A racionalização do subsistema vedação vertical é um dos principais pontos críticos para a implantação de medidas de racionalização da produção de edifícios por ser um dos principais subsistemas do edifício e por influenciar o seu desempenho final. As suas principais funções são a compartimentação da edificação e o oferecimento aos ambientes construídos de todas as condições para o desenvolvimento das atividades previstas. As vedações, além de servirem de suporte e proteção às instalações prediais e aos equipamentos de utilização do edifício, criam também condições de habitabilidade e segurança (FRANCO, 1998<sub>a</sub>; LORDSLEEM, 1998). Na produção de edifícios, as vedações verticais também têm um papel importante, por influenciarem e serem responsáveis por algumas características, entre elas pode-se citar (BARROS, 1998<sub>a</sub>; CARDOSO, 1998; SABBATINI, 1998<sub>b</sub>; CTE *et al.*, 1999):

- determinação de diretrizes para o planejamento e programação da execução da edificação;
- determinação do potencial de racionalização da produção, já que possui interfaces com outros subsistemas (instalações prediais, esquadrias, revestimentos e estrutura);
- profunda relação com a ocorrência de problemas patológicos;
- participação como elemento estrutural (alvenaria estrutural), ou servir de travamento da estrutura de concreto armado, ou ainda servir apenas de fechamento da edificação<sup>1</sup>.

Maior organização e limpeza do canteiro, melhor qualidade no produto final, rapidez e facilidade na execução das vedações, maior precisão geométrica e menor desperdício de

---

<sup>1</sup> Em edifícios com estruturas metálicas, usualmente, empregam-se painéis sem função estrutural.

materiais são algumas das vantagens do emprego de painéis pré-fabricados sobre a alvenaria tradicional. Porém, para a introdução de tecnologias pré-fabricadas no mercado nacional, existem algumas limitações que deverão ser superadas antes da introdução de quaisquer tecnologias racionalizadas para vedações. O Quadro 1.2 apresenta as principais vantagens e as limitações de utilização de vedações pré-fabricadas em edifícios com estruturas metálicas.

**Quadro 1.2: Vantagens e aspectos condicionantes de utilização de vedações pré-fabricadas (a partir de BARROS, 1998<sub>a</sub>; FRANCO, 1998<sub>b</sub>; SABBATINI, 1998<sub>c</sub>).**

Vantagens	Limitações atuais
Maior organização e limpeza no canteiro	Imagem negativa de vedações pré-fabricadas junto aos usuários
Redução do número de atividades realizadas do canteiro	Normalização em desenvolvimento pela ABNT, sobre desempenho de edifícios habitacionais de até 4 pavimentos – parte 4: fachadas (ABNT/CB-02).
Facilidade no controle e menor desperdício de materiais	Necessidade de mudanças na qualidade do processo de produção dos demais subsistemas
Diminuição de acidentes	Necessidade de mudanças organizacionais nos processos de gestão de empreendimentos e produção
Aceleração do cronograma, redução de prazo e custo	Dependência de profissionais habilitados em todos os níveis
Facilidade de utilização de instalações embutidas e de manutenção dessas instalações	Dependência na fabricação de complementos e acessórios no Brasil
Facilidade de introdução de isolamentos	Necessidade de interação com os outros subsistemas construtivos
Eliminação ou diminuição de algumas atividades existentes no processo tradicional como revestimento	Comercialização dos sistemas e não de soluções construtivas
Precisão dimensional e superfícies lisas	Necessidade de precisão dimensional da estrutura metálica e demais subsistemas
Possibilidade de ganho de área construída	Utilização de painéis apenas de vedação
Possibilidade de modificações no <i>layout</i>	Necessidade de juntas e fixações

Atualmente, a industrialização de componentes da construção civil conta com algumas opções de vedações verticais racionalizadas, em escala comercial nacional e internacional, que podem ser utilizadas em edifícios com estruturas metálicas, principalmente, pelo nível de industrialização e velocidade de execução e entre elas podem-se citar os painéis pré-fabricados de concreto, os painéis de GRC<sup>2</sup>, as cortinas de vidro, os painéis metálicos e os painéis de gesso acartonado, que podem ser classificadas conforme o Quadro 1.3.

<sup>2</sup> Compósitos constituídos por fibras de vidro resistentes a álcalis embebidas e dispersas em pasta, argamassa e/ou concreto que pode conter *fillers*, agregados, pigmentos e adições.

**Quadro 1.3: Classificação das vedações verticais pré-fabricadas para edifícios com estruturas metálicas (a partir de SOUZA 1998; CTE *et al.*, 1999).**

Modalidade	Classificação	Exemplos
Função	Envoltória externa	Painéis de concreto, GRC, metálicos e cortinas de vidro.
	Divisória interna	Painéis de concreto, GRC e gesso acartonado.
	Divisórias entre unidades	Painéis de concreto, GRC e gesso acartonado.
Técnica de execução	Acoplamento a seco (vedações montadas a seco).	Painéis de concreto, GRC, metálicos, gesso acartonado e cortinas de vidro.
	Acoplamento úmido (vedação montadas por solidarização com argamassa).	Painéis de concreto.
Mobilidade	Desmontáveis (vedações que são desmontadas com facilidade, mas podendo haver danos às peças).	Painéis de concreto, GRC e gesso acartonado.
	Removíveis (vedações que são desmontadas com facilidade sem danos às peças).	Painéis metálicos e cortinas de vidro.
Densidade superficial	Leves	Painéis de GRC, painéis metálicos, gesso acartonado e cortinas de vidro.
	Pesadas	Painéis de concreto.
Estruturação	Estruturadas (vedações que possuem uma estrutura reticular de suporte dos componentes da vedação).	Painéis de GRC, painéis metálicos, gesso acartonado e cortinas de vidro.
	Auto-suporte (vedações que não possuem uma estrutura reticular de suporte dos componentes da vedação).	Painéis de concreto.
Continuidade do plano	Modulares (a absorção dos esforços transmitidos à vedação é feita pelos elementos individualmente devido a existência de juntas).	Painéis de concreto, GRC, metálicos, gesso acartonado e cortinas de vidro.
Continuidade superficial	Descontínuas (as juntas entre os componentes são aparentes).	Painéis de concreto, GRC, metálicos, gesso acartonado e cortinas de vidro.
Acabamento	Revestimento incorporado	Painéis de concreto e GRC.
	Revestimento <i>a posteriori</i>	Painéis de gesso acartonado e GRC.
	Sem revestimento	Painéis de concreto, GRC, metálicos e cortinas de vidro.

Essas alternativas, por serem industrializadas, não podem ser simplesmente importadas sem o desenvolvimento de sistemas caracterizados por possuírem tecnologia de produção, projeto do produto e organização da produção consolidados e completamente integrados entre si e aos demais subsistemas e elementos que formam a edificação e, ainda, sem adequação à realidade construtiva nacional.

Sensível à necessidade de qualidade, racionalização e de alternativas de vedações verticais para a introdução de edifícios com estrutura metálica no mercado nacional, o Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mista – NEXEM, fruto da cooperação entre a Companhia Siderúrgica de Tubarão e a Universidade Federal do Espírito Santo, propôs uma pesquisa intitulada *Sistemas Racionalizados para Vedação de Estruturas Metálicas: Uma Visão Sistêmica*<sup>3</sup>. O objetivo final dessa pesquisa foi a disponibilização de fichas técnicas das principais alternativas<sup>4</sup> catalogadas como ferramenta de apoio a empresas e profissionais interessados na utilização de painéis pré-fabricados para vedação vertical.

A partir da identificação das principais alternativas racionalizadas para vedação vertical em edifícios com estruturas metálicas, cabe a esta dissertação apresentar os aspectos de projeto, produção e montagem dos painéis de concreto e dos painéis de GRC, com ênfase em aspectos de desempenho, visando a melhor aplicabilidade dessas tecnologias aos níveis de desempenho exigidos em cada situação.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O principal objetivo desta dissertação é, partindo de uma avaliação de desempenho de vedações verticais e levantamento de requisitos e critérios, analisar os painéis de concreto e os painéis de GRC com base em avaliação de desempenho, contemplando os aspectos de projeto, produção e montagem.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- discutir questões relativas à avaliação de desempenho de vedações verticais;
- apresentar requisitos e critérios de desempenho para vedações verticais externas e internas sem função estrutural;
- situar o estágio de normalização de desempenho de vedações verticais;

---

<sup>3</sup> A equipe desta pesquisa é composta pela Prof. DEng. Maristela Gomes da Silva, Arq. Tatiana Camargo Alves Pereira (Mestranda), Arq. MEng. Vanessa Gomes da Silva (Doutoranda), e por 5 (cinco) alunos de graduação do curso de Engenharia Civil: Gisele Lopes Carreiro, Rachel Fanti Coelho Lima, Marcelo Fernandes de Lana, Carlos Olympo Lima Raposo e Rodrigo de Andrade Machado.

<sup>4</sup> Painéis de concreto, painéis de GRC, painéis metálicos, cortinas de vidro e painéis de gesso acartonado.

- apresentar aspectos de projeto, produção e montagem dos painéis de concreto com ênfase em desempenho, bem como suas características, suas propriedades e tipos de painéis;
- apresentar aspectos de projeto, produção e montagem dos painéis de GRC com ênfase em desempenho, bem como suas características, suas propriedades e tipos de painéis;
- fornecer subsídios técnicos sobre avaliação de desempenho de painéis de concreto e painéis de GRC.

### **1.3 Metodologia**

Para o cumprimento dos objetivos da pesquisa, foi adotada a metodologia de revisão bibliográfica, visitas técnicas e contatos com fabricantes, em nível nacional e internacional, que contribuíssem para a consolidação da mesma.

Inicialmente, foi realizada ampla revisão bibliográfica através de pesquisas em bases de dados que contribuíssem para a seleção de dissertações, teses, artigos, sites de Internet, CD-ROM, normas e catálogos de fabricantes com vistas à identificação das principais alternativas de vedação vertical. Essa etapa foi conduzida com uma visão apartidária, com o objetivo de coletar dados que permitissem a seleção de alternativas racionalizadas de vedações verticais para edifícios com estruturas metálicas e a obtenção de dados que subsidiassem a elaboração do estudo de caso.

A revisão da literatura foi complementada com uma série de visitas técnicas realizadas nos últimos 2 (dois) anos, no Brasil e no Exterior (Quadro 1.4), a Universidades, Institutos de Pesquisa, Bibliotecas, Associações e interações com Escritórios de Arquitetura, Construtoras e Fabricantes para levantamento e investigação de aspectos de produção, projeto e montagem das alternativas levantadas para vedações de edifícios com estruturas metálicas.

Identificadas as cinco categorias principais de sistemas pré-fabricados de painéis existentes no mercado nacional e internacional, quais sejam painéis de concreto, painéis de GRC, painéis metálicos e cortinas de vidro, destinados à vedação de fachadas e, painéis de gesso acartonado para uso como divisória interna, optou-se para fins de estudo de caso nesta dissertação pelas alternativas de painéis de concreto e painéis de GRC, por serem vedações externas em matriz cimentícia, com capacidade de acompanharem a velocidade de construção de edifícios em estruturas metálicas e apresentarem diferenças quanto a densidade superficial, sendo o painel de concreto classificado como vedação pesada e o painel de GRC como vedação leve.

**Quadro 1.4: Visitas técnicas realizadas nos EUA, Canadá, Europa e Brasil.**

<b>Instituição ou empresa visitada</b>	
<b>EUA</b> Precast/Prestressed Concrete Institute – PCI METALCON International 99 American Institute of Steel Construction – AISC Knight Architects Engineers Planners American Iron and Steel Institute – AISI Metal Construction Association – MCA Massachusetts Institute of Technology – MIT	<b>Inglaterra</b> University of Bath/CWCT CIRIA Building Research Establishment – BRE Oxford Brookes University The Steel Construction Institute (SCI) RIBA Building Centre
<b>Canadá</b> CCA NRC/IRC Peter Russel & Associates Visual Project Inc Descon Home de pot	<b>Suécia</b> The Swedish Institute of Steel Construction – SBI Bloko e DDDigital Escritórios de projeto e planejamento pertencentes ao Grupo SWECO (maior construtora da Suécia) Edifícios em construção
<b>Holanda</b> Sustainable Building 2000 Green Building Challenge Edifícios de alta tecnologia (Maastricht e Amsterdam)	<b>França</b> Salão Batimat 99 Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB Grupo USINOR Edifícios de alta tecnologia (Paris)
<b>Brasil</b> Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP CIB Symposium 2000	<b>Bélgica</b> International Iron and Steel Institute – IISI Edifícios de alta tecnologia (Ghent, Bruxelas e Antuérpia)
<b>Chile</b> Câmara de construção Reunião técnica do GRC Visita a 3 (três) edifícios de alta tecnologia	<b>Áustria</b> Edifícios de alta tecnologia (Viena)

Procedeu-se, então, a identificação dos requisitos e critérios de desempenho, a serem atendidos pela vedação, vertical expressos qualitativamente e quantitativamente através de dados obtidos da revisão de literatura.

Realizou-se, assim, o estudo de caso através dos painéis de concreto e dos painéis de GRC, com ênfase em avaliação de desempenho, detalhando os aspectos de projeto, produção e montagem, tomando-se por base os requisitos de segurança, habitabilidade e durabilidade.

## 1.4 Justificativa

O Brasil ainda possui um tradicionalismo construtivo voltado ao uso de estruturas de concreto como principais elementos estruturais e a alvenaria como principal alternativa de vedação interna e externa. O avanço tecnológico, a exemplo de outros países, a exigência atual do setor da construção civil, no que se refere a adequação dos custos, prazos, exigências do cliente e a busca de competitividade e excelência fazem com que haja necessidade da ampliação e divulgação de conhecimentos de novas tecnologias construtivas.

Nesse sentido, no cenário nacional, a partir da década de 90, nota-se uma maior intensificação no uso de estruturas metálicas na construção civil. Esse quadro foi estimulado por uma série de fatores sócio-econômicos, como a estabilidade econômica em que a produtividade passou a ser mais valorizada, exigindo mais eficiência e qualidade do setor, além de outras características e vantagens do uso de estruturas metálicas como a leveza e a flexibilidade arquitetônica, precisão dimensional, velocidade de execução e por se aproximar da visão de sustentabilidade e redução do impacto ambiental da construção civil<sup>5</sup>.

No entanto, a maior utilização de estruturas metálicas na construção civil é dependente do desenvolvimento de tecnologias racionalizadas para os vários subsistemas da edificação, que também acompanhem a velocidade de execução de edifícios com estruturas metálicas e garantam o desempenho projetado para o ambiente construído.

Uma tecnologia que pode contribuir para a racionalização da construção civil e ampliação da utilização de estruturas metálicas, em nível nacional, é o uso de vedações verticais pré-fabricadas em que o elevado grau de industrialização permite a obtenção de benefícios trazidos pela montagem desvinculada do canteiro de obras.

Diante da ausência de bases normativas que atestem as características técnicas adequadas aos novos materiais, componentes e sistemas construtivos, a ferramenta para a verificação desta adequação é a avaliação de desempenho. A avaliação de desempenho torna possível, ainda, a seleção da melhor alternativa dentre as disponíveis no mercado.

---

<sup>5</sup> O American Institute of Architects considera que o aço pode ser classificado como um material sustentável por ser flexível e adaptável, reciclável, ter alta qualidade, menor agressão ao meio ambiente em função da pré-fabricação que garante melhores condições de trabalho, controle e qualidade do produto (GORGOLEWSKI, 1999).

A falta de conhecimento consolidado dessas alternativas motiva a elaboração de uma pesquisa que venha a delinear o estado-da-arte de tecnologias disponíveis, através da identificação, compilamento e disponibilização de dados e informações relativas a produção, projeto e montagem, com base em avaliação de desempenho, permitindo a mobilidade de adequação das tecnologias aos níveis de desempenho exigidos em cada situação.

A avaliação de desempenho das tecnologias apresentadas nesta dissertação poderá fornecer informações que orientarão profissionais responsáveis pelo planejamento, projeto e execução de edifícios às realidades construtivas nacionais, minimizando a lacuna bibliográfica, hoje existente.

A importância da conceituação e do desenvolvimento teórico da avaliação de desempenho não só permitirá a análise e determinação de requisitos e critérios de desempenho para vedações verticais, mas também a aplicação a outros subsistemas da edificação e estimulará a entrada de novas tecnologias no mercado nacional.

## **1.5 Estrutura da dissertação**

No **capítulo 1**, apresentou-se uma abordagem sobre a importância do subsistema vedação vertical para a racionalização construtiva, bem como a função que exerce no desempenho da edificação e na produção de edifícios. Alguns aspectos como características e classificação das vedações também foram tratados neste capítulo.

O **capítulo 2** abordará a conceituação e importância da avaliação de desempenho, ainda na fase de projeto, para a minimização de problemas futuros e garantia do desempenho especificado para a edificação, através do levantamento de requisitos e critérios de desempenho para vedações verticais. Ao final do capítulo, propõe-se alguns critérios mínimos de desempenho para vedações verticais externas e internas sem função estrutural.

Cabe aos **capítulos 3 e 4** a apresentação de 2 (duas) alternativas racionalizadas de vedações verticais para edifícios com estrutura metálica, quais sejam, painéis de concreto e painéis de GRC, respectivamente. Para cada alternativa serão mostrados características e tipos de painéis disponíveis no mercado nacional e internacional, apontando as principais vantagens de sua utilização. Os **capítulos 3 e 4** ainda contemplam os aspectos de projeto, produção e montagem desses painéis, com base em avaliação de desempenho, detalhando os processos de fabricação de cada painel, bem como geometria e modulação, juntas e fixações. Ao final de

cada um desses capítulos faz-se uma avaliação de desempenho desses painéis com base nos requisitos de segurança, habitabilidade e durabilidade.

O **capítulo 5** abordará os principais pontos mostrados ao longo do trabalho, reunirá as considerações finais desta dissertação e indicará as principais linhas para pesquisas futuras.

## 2. REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS

### 2.1 Introdução

A edificação deve ser estável, resistente e permitir a habitabilidade do ambiente interno; seus materiais constituintes devem resistir ao fogo, oferecer as propriedades térmicas e acústicas necessárias, suportar os efeitos da degradação pelo uso e pelo ambiente e manter o desempenho previsto em projeto. Nesse contexto, a construção é responsável pela manutenção de valores essenciais como a temperatura, insolação, ruído ou privacidade nos níveis de bem-estar e deve responder satisfatoriamente a solicitações impostas pelo meio, como alterações climáticas, chuva, vento, ruído, radiação térmica e pela própria ocupação da edificação (impactos, adição de cargas suspensas e geração de umidade) (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARISON & VEKEY, 1998).

A vedação vertical externa juntamente com os elementos que compõe a cobertura constitui o *envelope da edificação*, responsável pela interação do usuário com o meio interno e externo. O processo criativo do projeto arquitetônico da edificação deve responder satisfatoriamente ao desempenho adequado no sentido físico, ser economicamente viável e estar em conformidade com as propriedades inerentes do projeto, tais como: estética, harmonia, impacto cultural e ambiental. Para tanto, os projetos da edificação requerem um entendimento das exigências de desempenho e das propriedades dos materiais e tecnologias disponíveis para o atendimento aos requisitos propostos em cada situação.

Como esse processo não depende apenas de uma avaliação científica para a otimização dos problemas, cabe ao arquiteto a responsabilidade de considerar fatores físicos, químicos e mecânicos que podem afetar o desempenho da edificação em situações específicas para cada projeto de arquitetura. Até mesmo os projetos elaborados em sistemas computadorizados de última geração, ainda são considerados como um processo criativo em que as soluções de projeto surgem da integração do conhecimento da tecnologia com a capacidade pessoal e sensibilidade do arquiteto.

No estudo preliminar do projeto arquitetônico, muitas das decisões são tomadas em função de requisitos que podem vir a afetar o desempenho da edificação (orientações em relação ao sol, vento, chuva, fontes de ruído) e em estágios mais avançados do projeto é que são impostos os critérios de desempenho desses requisitos. O arquiteto que empreender projetos integrados com a avaliação de desempenho pode obter *feedbacks* em todas as decisões de projetos.

O projeto de vedação vertical deve ser considerado integralmente com o projeto da edificação, como uma parte de um processo cíclico de projetos, em que as exigências de desempenho das vedações devem interagir com o desempenho global da edificação (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; FRANCO, 1998<sub>b</sub>).

No Brasil, há apenas pouco tempo, o subsistema vedação vertical tem recebido valoração técnica e a sua execução tem merecido a elaboração de projetos, planejamento operacional específico, procedimentos de execução e controles adequados, bem como a necessidade de avaliação de desempenho, principalmente, devido ao aparecimento de novos materiais e novas técnicas construtivas (BARROS, 1998<sub>b</sub>; CARDOSO, 1998; FRANCO, 1998<sub>a</sub>; SABBATINI, 1998<sub>a</sub>). Em nível internacional, a avaliação de desempenho já vem sendo adotada na fase de projeto de modo a garantir o desempenho previsto para a edificação, uma prática ainda incipiente no mercado nacional. Vale ressaltar que por mais excepcionais que sejam as qualidades destes novos produtos e tecnologias construtivas, quando utilizados de maneira inadequada podem proporcionar o surgimento de problemas patológicos que comprometem o desempenho do próprio produto e sua utilização futura.

Neste capítulo, pretende-se enfatizar a importância da avaliação de desempenho, ainda na fase de projeto, através da identificação de requisitos de desempenho com base nas exigências dos usuários e de contexto para a determinação de critérios para vedações verticais internas e externas sem função estrutural.

## 2.2 A avaliação de desempenho

O significado da palavra **desempenho** é *comportamento em utilização*, que consiste em um determinado produto possuir propriedades que possam cumprir sua função durante sua vida útil. O edifício, considerando seus elementos e componentes, está sujeito a uma variedade de ações em função de fenômenos de origem natural ou da própria utilização do edifício, que são denominadas *condições de exposição* às quais está submetido. O *desempenho do produto* é o resultado do equilíbrio dinâmico estabelecido entre o produto e o seu meio, que só ocorre com o edifício em uso. Apesar disso, é possível obter uma estimativa do seu *desempenho potencial* através da realização de ensaios e medidas em protótipos, da utilização de modelos matemáticos e físicos que simulem o comportamento do edifício, julgamento técnico e inspeções realizadas nos protótipos. Através da análise dos resultados obtidos é possível fazer

a avaliação de desempenho provável do produto, ou seja, prever seu *comportamento potencial*, quando em utilização normal (SOUZA, 1988; MITIDIERI, 1998).

A avaliação de desempenho é, primeiramente, a prática de pensar e trabalhar em termos de finalidade do produto. Diz respeito ao para que a construção ou produto da construção é destinado, e não é uma prescrição de como a edificação deve ser construída. Isso não quer dizer que tipologias de construção, produtos e materiais não sejam considerados, mas que uma nova abordagem deve ser adotada de forma a garantir que o edifício atenderá a sua finalidade e para no período de tempo definido. Portanto, a avaliação de desempenho é caracterizada pela análise rigorosa através de um método científico para se estudar a funcionalidade de uma determinada construção e seus componentes, em conformidade com o seu uso específico, através da apresentação de critérios e requisitos que devem atender às exigências dos usuários.

Essa avaliação pode ser aplicada em um único projeto ou construção, em um programa contínuo de projeto ou construção, em desenvolvimento e *marketing* de produtos de construção, em uma preparação ou construção de uma orientação de projetos ou, ainda, em controle de qualidade através de inspeção e certificação (CIB, 1982; CIRIA, 1992<sub>a</sub>).

Assim sendo, a avaliação de desempenho é fundamentada em requisitos e critérios de desempenho. Os requisitos e critérios para a avaliação de desempenho baseiam-se nas *exigências dos usuários*<sup>6</sup> da construção, que definem os parâmetros para os atributos do edifício e são entendidas como as necessidades que devem ser satisfeitas pelo edifício; nas *exigências do contexto*, em que a construção está inserida, caracterizadas pelo conjunto de influências ou ações atuantes sobre o edifício durante sua vida útil e nas *exigências dos métodos de ensaio* para a avaliação de comportamento de uso da construção, ou seja, valores obtidos em testes de laboratório (BLACHÉRE, 1978; CIB, 1982; CIRIA, 1992<sub>a</sub>).

As *exigências dos usuários* expressam quantidades mensuráveis e definem condições e facilidades para serem supridas por uma construção com um propósito específico, independente de sua localização; já as *exigências de desempenho do contexto* definem em termos quantitativos as condições e facilidades para serem supridas pela produção e serviços

---

<sup>6</sup> Considera-se *usuários* desde a vizinhança, proprietários, funcionários da construção, projetistas até o ocupante final da edificação.

de uma edificação em um local específico e se refletem nas decisões particulares de projeto (CIB, 1982; CIRIA, 1992<sub>a</sub>; CTE *et al.*, 1998). O desempenho da vedação vertical depende do cumprimento de três grupos de requisitos básicos de desempenho (Quadro 2.1) (LNEC, 1974; ISO 6241, 1984; ISO 7361, 1986, CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARISON & VEKEY, 1998):

**Quadro 2.1: Requisitos de desempenho de vedações com base nas exigências dos usuários (a partir de ISO 6241, 1984; ISO 7361, 1986; CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARISON & VEKEY, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

<b>Segurança</b>	<b>1. Segurança estrutural</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>resistência mecânica a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas decorrentes do uso normal ou abuso no uso (ação imediata e fadiga provocada pelo vento, impactos, riscamento, cargas verticais e alterações climáticas);</li> <li>eficiência do sistema de fixação que liga o painel à estrutura (resistência, aderência e flexibilidade);</li> <li>capacidade de deformação das juntas.</li> </ul>
	<b>2. Segurança ao fogo</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>reação ao fogo dos materiais (combustibilidade, propagação de chamas e liberação de gases e fumaça);</li> <li>resistência ao fogo do sistema (integridade, estanqueidade, isolamento).</li> </ul>
	<b>3. Segurança de utilização e adaptação ao uso</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>segurança dos usuários, segurança a intrusões (resistência de intrusões exteriores).</li> <li>integração de instalações; possibilidade de fixação de placas, prateleiras (resistência a cargas suspensas);</li> <li>facilidade de montagem e estocagem dos painéis.</li> </ul>
<b>Habitabilidade</b>	<b>4. Estanqueidade</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>estanqueidade aos gases, aos líquidos e aos sólidos;</li> <li>pequena absorção de água (para minimizar alterações de volume e de massa);</li> <li>eficácia na drenagem de águas pluviais.</li> </ul>
	<b>5. Conforto térmico e economia de energia</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>estanqueidade ao ar, controle da temperatura e umidade relativa do ar;</li> <li>isolamento térmico no inverno e no verão.</li> </ul>
	<b>6. Aspecto</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>planeza dos componentes e do conjunto;</li> <li>condição superficial (brilho, textura, cor);</li> <li>uniformidade de coloração.</li> </ul>
	<b>7. Conforto acústico</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>isolamento e absorção sonora;</li> <li>não ser fonte de ruído por ação de movimentações térmicas ou por impactos de agentes atmosféricos;</li> <li>não permitir a passagem de ruído nos encontros com as vedações internas.</li> </ul>
	<b>8. Pureza do ar e conforto tátil</b>
	<b>9. Conforto antropodinâmico</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>acelerações, vibrações e esforços de manobras.</li> </ul>
<b>Durabilidade</b>	<b>10. Durabilidade</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>conservação de aspecto (cor, brilho);</li> <li>conservação das propriedades mecânicas, físicas e químicas (capacidade de deformação, resistência a impacto).</li> </ul>
	<b>11. Economia</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>facilidade e frequência de limpeza, conservação e manutenção durante a vida útil pretendida;</li> <li>custo global (custo inicial e custos de manutenção e reposição durante o uso).</li> </ul>

Os requisitos de *segurança* são sempre considerados absolutos, por serem normativos, e envolvem o comportamento mecânico e o comportamento em relação ao fogo e a resistência a intrusões; os de *habitabilidade* são em função do contexto de inserção e ocupação<sup>7</sup>, abrangendo estanqueidade, qualidade do ar, conforto térmico e acústico, aspecto e adaptação e comportamento antropodinâmico; e os requisitos de *durabilidade* são fixados a partir do equilíbrio entre os fatores econômicos e ambientais e referem-se à conservação do desempenho ao longo do tempo.

Para o atendimento desses requisitos é imperativo uma priorização a ser estabelecida através de um acordo entre o projetista e o cliente, durante a definição do perfil do empreendimento, levando em consideração as diversas opções de painéis pré-fabricados disponíveis no mercado da construção civil. Os elementos que constituem o subsistema vedação vertical em painéis pré-fabricados (componentes de vedação, sistema de fixação e juntas) devem necessariamente possuir características que atendam aos requisitos de desempenho propostos. É importante ressaltar que a interface da vedação vertical com os outros subsistemas do edifício condicionará também o seu desempenho global.

Cabe ressaltar que para o mesmo requisito podem existir vários critérios de desempenho, principalmente, por serem avaliados com base nas exigências dos usuários e de contexto, e, ainda, que alguns requisitos nem sempre podem ser quantificados. Dentre os requisitos de desempenho expostos no Quadro 2.1, destacam-se os de segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade que serão comentados detalhadamente neste capítulo com especificação para vedações verticais internas e externas sem função estrutural. Os critérios de desempenho sugeridos para vedações verticais sem função estrutural foram delineados a partir de recomendações de diversas instituições de pesquisa através de uma extensa revisão literária e visitas técnicas.

### **2.3 Estágio da normalização de desempenho para vedações verticais**

No Brasil, a instituição que mais vem se dedicando a questão de desempenho é o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, que conta com uma equipe especializada na área de avaliação de componentes, elementos e sistemas. Algumas Universidades também destacam-se no que diz respeito a avaliação de desempenho, como a

---

<sup>7</sup> Nesse requisito, considerar ainda a agressividade do meio, uso e padrão da edificação.

UNICAMP, Escola Politécnica da USP, a Escola de Engenharia de São Carlos da USP, UFRGS, que possuem uma abordagem mais global em que são considerados também aspectos de produção e racionalização dos sistemas construtivos e a UFSC que tem desenvolvido pesquisas relacionadas mais a conforto ambiental em que são considerados os aspectos de conforto térmico, acústico e lumínico (MITIDIERI, 1998). Vale ressaltar, também, que a ABNT vem desenvolvendo comissões de estudos relacionadas ao desempenho de edifícios habitacionais de até 4 pavimentos – parte 4: fachadas, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros - ABNT/CB-02. Pelo caráter prescritivo, esse documento aplica-se, principalmente, a avaliação de sistemas construtivos inovadores.

A primeira abordagem sobre a definição de requisitos de desempenho de fachadas leves foi elaborada pela LNEC<sup>8</sup>, de 1974, que contempla as diretrizes da UEAtc<sup>9</sup>, de 1963. Apesar da sua importância, essa abordagem preliminar não chega a estabelecer critérios para todos os requisitos estabelecidos. Os trabalhos posteriores sobre a avaliação de desempenho foram baseados nesses conceitos que têm orientado não somente os países europeus, mas instituições em todo o mundo, inclusive no Brasil, sendo mantidos os mesmos requisitos de desempenho para toda a edificação. Em nível internacional, ainda não há documentos normativos que apresentem critérios para todos os requisitos levantados para vedações verticais de edifícios (ISO 7361, 1986). Atualmente, existem algumas instituições internacionais que possuem comitês especialmente dedicados ao desempenho de edifícios, conforme apresentado no Quadro 2.2.

**Quadro 2.2: Principais instituições internacionais dedicadas ao desempenho de edifícios.**

<b>Instituições internacionais</b>			
<b>CIB</b>	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	<b>BRE</b>	Building Research Establishment
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials	<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>RILEM</b>	Reunión Internationale de Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Matériaux et constructions	<b>CSTB</b>	Centre Scientifique et Technique du Batiment
<b>NRCC</b>	National Research Council of Canadá, Division of Building Research – Canadian Buildings Digests	<b>CSTC</b>	Centre Scientifique et Technique de la Construction

<sup>8</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.

<sup>9</sup> Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la construction.

## 2.4 Segurança estrutural

### 2.4.1 Principais solicitações das vedações verticais

A edificação, durante a sua construção e sua utilização, deve ser projetada e construída de forma a suportar o carregamento a que estará sujeita e não permitir colapso, deformações ou dano de qualquer parte da construção, que venha prejudicar a sua estabilidade, durabilidade ou os níveis de satisfação exigidos por seus usuários (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998; MITIDIERI, 1998).

A vedação vertical e seus elementos constituintes devem apresentar resistência mecânica que garanta a sua estabilidade e segurança quando submetida às diversas ações<sup>10</sup> previstas em projeto, mantendo a sua integridade física. A resistência mecânica da vedação vertical está relacionada às características dos seus componentes constituintes, às características do tipo de junta, às propriedades da vedação (área da seção resistente, relação altura/comprimento, índice de esbeltez) e ao tipo de fixação da vedação à estrutura (CTE *et al.*, 1999).

Os sistemas de vedação vertical em painéis pré-fabricados suportam, principalmente, seu peso próprio, visto que as outras solicitações impostas aos painéis são transferidas pelas fixações à estrutura da edificação. Nesse sentido, as fixações e juntas exercem um papel importante na segurança estrutural, pois as movimentações resultantes da variação de temperatura e de umidade devem ser absorvidas pelas juntas e acessórios para a fixação. Os painéis pré-fabricados e seus componentes constituintes ainda devem suportar os esforços durante as operações de desmoldagem, transporte e instalação, além de resistir a esforços de flexão e impacto (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998).

### 2.4.2 Requisitos de desempenho

O atendimento do desempenho estrutural é fixado visando garantir que as vedações não atinjam o *estado limite último*, ou seja, a ruína do componente ou parte dele e o *estado limite de utilização* em que o componente ou parte dele deixe de satisfazer às condições previstas para sua utilização ou tenha sua durabilidade comprometida por fissuras ou por deformações que ultrapassem os limites aceitáveis para utilização do elemento (MITIDIERI, 1998; CTE *et*

---

<sup>10</sup> Ações de cargas estáticas, dinâmicas, deformações da estrutura, ações do vento e de cargas suspensas e de choques resultantes de esforços que geram tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

al., 1999). Os requisitos genéricos de segurança estrutural para edificações são relativos à *estabilidade e resistência*, à *interação com as instalações prediais*, às *deformações e fissurações ou ocorrência de outras falhas*, a *ação do vento*, às *alterações volumétricas*, a *cargas de peças suspensas*, à *interação com portas e a impactos* (MITIDIARI, 1998).

Os itens constituintes dos painéis pré-fabricados devem resistir ao efeito imediato das solicitações, aos ciclos de carregamento que podem levar à ruptura por fadiga das peças metálicas e à fissuração dos selantes nas juntas por dano progressivo do paramento externo. Portanto, (i) *os componentes de vedação* devem ser capazes de transmitir aos seus pontos de apoio ou estrutura de enrijecimento todo o carregamento proveniente de peso próprio, da ação do vento, de peças suspensas (fixação de letreiros e logomarcas) sem romper, deformar-se excessivamente e nem apresentar prejuízo permanente de desempenho; (ii) as *fixações* devem ter rigidez para transmitir as cargas de vento e peso próprio e, simultaneamente, flexibilidade suficiente para acomodação das deformações decorrentes das mudanças do meio e também devem manter inalterada a ligação do painel à estrutura sob ação das solicitações; e, finalmente, (iii) as *juntas* devem acomodar a deformação sob carga e movimentação higrotérmica dos painéis sem descolamento e evitar que as restrições de deformações originem tensões internas e externas capazes de provocar a fissuração, destacamento ou esmagamento dos componentes de vedação (LENC, 1974; ISO 7361, 1986).

Em se tratando de painéis pré-fabricados, as solicitações impostas às vedações devido às *deformações da estrutura* são relevantes, principalmente, no caso de painéis leves, em função da esbeltez das chapas. Para situações de deformações significativas das estruturas, no caso de edifícios com estruturas metálicas, é imperativo prever mecanismos que possibilitem ao sistema de vedação, como um todo, absorver tais deformações (painéis, fixação e juntas) (CTE *et al.*, 1999).

No Brasil, as deformações provenientes das *ações do vento* são de pequena intensidade em função das baixas velocidades do vento nas várias regiões brasileiras e à sua distribuição como um todo. No entanto, as cargas de vento não devem provocar desconforto aos usuários e, quando em ação conjunta de cargas permanentes, a vedação não deve entrar em ruína. O indicador de desempenho é a *deformação horizontal* ( $d_h$ ) que procura garantir o bom aspecto da fachada e a integridade do revestimento externo, dos caixilhos e do próprio componente de vedação (MITIDIARI, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>; CTE *et al.*, 1999).

A *resistência a impacto* é importante tanto na fase de uso, quanto no manuseio, transporte e içamento do painel, principalmente, para componentes de pequena espessura. Os impactos são, normalmente, produzidos por pequenos objetos atirados e trazidos pelo vento ou fluxo de veículos, por choques acidentais em locais próximos a vias públicas e por andaimes de limpeza usados na manutenção e conservação de fachadas (MITIDIERI, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>). Na prática, danos causados por impactos acidentais nos pavimentos superiores não são muitos significativos, entretanto, a possibilidade de vandalismo é maior nos primeiros pavimentos (HARRISON & VEKEY, 1998).

O desempenho das vedações em relação ao requisito de resistência a impacto deve ser julgado na sua capacidade de permanecer em segurança, com aparência satisfatória e adequada estanqueidade. A vulnerabilidade para danos causados por impactos de cargas acidentais dependerá não somente de propriedades físicas dos materiais dos componentes da vedação, mas também da tipologia e localização da edificação (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998).

A estabilidade e integridade da vedação é avaliada por testes de impacto através da ação de corpo mole e de corpo duro na vedação, decorrentes da utilização normal da edificação ou de cargas acidentais, implicando que a vedação e seus componentes não devem entrar em ruína ou colapso, apresentar deformações excessivas e nem apresentar danos que comprometam o seu desempenho (IPT, 1998; MITIDIERI, 1998). Nesse sentido, as exigências para resistência a impactos de corpo mole e de corpo duro são em relação a dois critérios: atendimento à *impacto de segurança* e à *impacto de utilização*, decorrentes de movimentações de pessoas com a probabilidade de danificação e desprendimento de materiais.

Esses critérios são avaliados por testes com impactos de corpo mole e corpo duro com diferentes níveis de energia, aplicados para uma variedade de categorias de vedações que determinam se a vedação desempenhará as funções previstas em projeto. Os impactos com maiores energias referem-se ao *estado limite último*, sendo os impactos *estado limite de utilização* com energias menores. As vedações verticais ainda devem ser capazes de resistir a impactos produzidos por movimentos de abertura e fechamento de esquadrias e portas (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998; IPT, 1998; MITIDIERI, 1998).

### 2.4.3 Critérios de desempenho

Os critérios atribuídos para as verificações para painéis não-estruturais são (ISO 7361, 1986; MITIDIARI, 1998):

- *critérios de resistência a cargas de vento* – quantifica a deformação horizontal ( $d_h$ ) admitida para os componentes procurando garantir a estabilidade da vedação e integridade do revestimento externo, dos caixilhos e componentes sob a ação do vento;
- *critérios de resistência a impactos* – o pavimento térreo por ser mais exposto a intrusões e choques de veículos e ciclistas deve atender a critérios mais rigorosos. O mesmo se aplica aos locais dos demais pavimentos aos quais o usuário possa ter acesso e seja responsável pela manutenção da edificação (sacadas e terraços);
- *cargas suspensas e interação com portas* – as vedações devem apresentar resistência mecânica aos esforços transmitidos por cargas suspensas (armários, prateleiras, letreiros) e; não devem apresentar rupturas quando submetidas a solicitações transmitidas por impactos na folha de porta e fechamentos bruscos da folha de porta contra o marco;
- *critérios de resistência a deformações impostas* - destinados ao desempenho do sistema de fixação.

O Quadro 2.3 e o Quadro 2.4 apresentam os critérios sugeridos para vedações internas e externas, respectivamente, em painéis pré-fabricados apenas com função de vedação.

**Quadro 2.3: Critérios de segurança sugeridos para vedação interna (a partir de MITIDIARI, 1998).**

Critérios sugeridos		
Vedação interna	Cargas de serviço	Limite de utilização das divisórias internas $d_h^* \leq h/500$ e $d_{hr}^{**} \leq h/2500$ , sem ocorrência de deformações, fissuração e falhas nas divisórias internas.
	Impacto de corpo duro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2,5J, limitação de ocorrência de falhas.</li> <li>• 10J, limitação de ocorrência de ruptura e transpassamento da divisória.</li> </ul>
	Impacto de corpo mole	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 120J, limitação de ocorrência de falhas a <math>d_h \leq h/125</math> e <math>d_{hr} \leq h/625</math>.</li> <li>• 240J, limitação de ocorrência de ruína.</li> </ul>
	Cargas suspensas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>d_h^* \leq h/500</math> e <math>d_{hr}^{**} \leq h/2500</math>, considerados para cargas de uso. Em qualquer sistema de fixação, deve ser estabelecida a máxima carga de uso.</li> </ul>
	Interações com portas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fechamento brusco, 10 operações, sem danos na vedação e nas regiões de solidarização do marco e;</li> <li>• impacto de corpo mole 240J, limitação do arrancamento do marco e da ruptura ou perda de estabilidade da vedação.</li> </ul>

\*Deformação horizontal ( $d_h$ ); \*\* Deformação horizontal residual ( $d_{hr}$ ).

**Quadro 2.4: Critérios de segurança sugeridos para vedação externa sem função estrutural (a partir de IPT, 1998; MITIDIARI, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

Item do sistema de vedação		Critérios sugeridos	
Componente de vedação	Cargas horizontais (ventos)	deformação horizontal ( $d_h$ ) $\leq h/350$ e, deformação horizontal residual ( $d_{hr}$ ) $\leq h/1750$ , para pressão de vento do local de implantação <sup>11</sup> .	
	Impacto externo de corpo duro <sup>12</sup>	<b>Pavimento térreo e áreas acessíveis</b>	<b>Demais pavimentos</b>
		• 10J, sem dano.	• 3,75J
	Impacto externo de corpo mole <sup>13</sup>	<b>Pavimento térreo e áreas acessíveis</b>	<b>Demais pavimentos</b>
		• 60J, sem dano e; 750J, sem perfuração, arrancamento ou queda de fragmentos do paramento e sem deformação permanente e fissuração que comprometa o desempenho.	• 120J
Cargas suspensas	• ( $d_h$ ) $\leq h/500$ e ( $d_{hr}$ ) $\leq h/2500$ , sem danos, para uma carga igual ao dobro da carga transmitida pelo objeto suspenso, aplicada em dois pontos, com excentricidade definida pela geometria do objeto.		
Interações com portas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 fechamentos bruscos da folha da porta contra o marco, sem danos na vedação e nas regiões de solidarização do marco, destacamentos nas juntas entre componentes da vedação, destacamentos no seu entorno e avarias nas guarnições do marco.</li> <li>• Impactos de corpo mole de 240J nas duas faces da porta, sem arrancamento do marco e da ruptura de estabilidade da vedação.</li> </ul>		
Fixações	Resistência	• deve resistir aos esforços de tração, compressão, flexão e cisalhamento impostos pelo peso próprio dos painéis, cargas de vento e demais solicitações sem apresentar ruptura ou afrouxamento capaz de induzir vibrações não previstas. Estas solicitações devem ser previstas pelo projetista para a definição de critérios.	
	Possibilidade de ajuste	• fixações devem permitir folga para acomodar a deformação da estrutura cabendo ao projetista a definição de critérios com base no dimensionamento.	
	Aderência	• painéis devem suportar as solicitações sem desprenderem-se das fixações e sem apresentarem danos na região da vinculação que possam comprometer a segurança cabendo ao projetista a definição de critérios com base no dimensionamento.	
<b>Juntas</b>		• devem acomodar toda a movimentação dos painéis sem descolamento. O dimensionamento é definido pelo projetista em função das solicitações e do tipo do selante utilizado.	

<sup>11</sup> Quando se desconhece o local de implantação da edificação, consideram-se as cargas de vento em função das regiões definidas na normalização brasileira (MITIDIARI, 1998).

<sup>12</sup> Impactos de corpo duro de 10J, para pavimento térreo e áreas acessíveis, representam o efeito de pequenos objetos como pedras projetadas pelo trânsito de veículos e nos demais pavimentos, a energia de impacto sugerida pode ser menor e corresponde a impactos durante a manutenção e/ou limpeza da vedação vertical (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

<sup>13</sup> Impactos de corpo mole de 1000J representam o impacto de um ciclista contra a fachada, enquanto um golpe de ombro e um pontapé correspondem uma energia de 120J e 60J, respectivamente (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

A análise de solicitações de uso normal em componentes ligados a portas contribui para avaliação da qualidade da solidarização do marco à vedação e da sua resistência a esforços repetidos de fechamento brusco, somados a impactos de corpo mole na folha da porta (MITIDIERI, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>).

## **2.5 Segurança contra fogo**

### **2.5.1 Requisitos de desempenho**

O requisito de resistência ao fogo refere-se à capacidade que os elementos da edificação têm em manter a sua estabilidade e integridade, conservando suas características funcionais de isolamento térmica e estanqueidade à chamas e gases nocivos durante um determinado período de tempo em caso de incêndio.

A vedação vertical externa tem como um das suas funções o confinamento do fogo no pavimento em que ele se originou, controlando a passagem de chamas e gases quentes, além de apresentar características que inibam a propagação do fogo para ambientes de um pavimento para o outro e para construções vizinhas (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998; CTE *et al.*, 1999).

Portanto, em situações de incêndio, o sistema de vedação vertical e seus componentes constituintes têm como objetivo o atendimento das seguintes condições:

- não devem favorecer o desenvolvimento ou propagação do fogo,
- não devem desprender gases tóxicos ou nocivos em quantidades perigosas;
- devem permitir a fuga dos ocupantes;
- os dispositivos de fixação da fachada à estrutura do edifício, juntas e demais componentes devem resistir a um incêndio limitado ao pavimento correspondente;
- as fachadas não devem constituir um risco grave de transmissão do fogo para o andar superior.

O projeto, seja para edificação nova ou para reforma, deverá contemplar o atendimento dessas condições que serão impostas às vedações verticais em uso. Fatores como carregamentos, meio ambiente e durabilidade devem ser entendidos e assimilados dentro do

processo de projeto e considerados em relação ao requisito de segurança ao fogo (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998).

Dois aspectos, ainda, são relevantes para o requisito de segurança ao fogo: a reação ao fogo e a resistência ao fogo (IPT, 1998; CTE *et al.*, 1999). A **reação ao fogo** é uma característica dos materiais e está relacionada com a sua *combustibilidade* bem como com a *velocidade de propagação superficial de chamas, produção de fumaça ou gases nocivos e desenvolvimento de calor*. O crescimento e propagação do fogo nos ambientes de uma edificação é influenciado pela natureza dos materiais dos elementos construtivos e controlado por ventilação através do tamanho das aberturas para o exterior.

Em uma edificação, quando um incêndio atinge a fase de inflamação generalizada no compartimento de origem, a resistência ao fogo é a característica dos elementos construtivos que permitirá conter o alastramento do incêndio ou manter a estabilidade estrutural do edifício. Nesse sentido, a resistência ao fogo deve limitar a influência dos materiais e componentes da vedação no desenvolvimento e propagação do fogo entre ambientes, interna e/ou externamente à edificação (CIRIA, 1992<sub>a</sub>). Com a utilização de materiais adequados, especificados em projeto, o tempo pode ser prolongado, elevando o nível de segurança ao fogo da habitação.

A **resistência ao fogo**, para painéis com função de vedação, é avaliada com base na *integridade, estanqueidade, isolamento térmico dos componentes ou conjunto de componentes* e representa o período de tempo que as vedações e seus componentes são capazes de manter um nível de desempenho aceitável quando submetidos a um aumento de temperatura padronizado.

### 2.5.2 Critérios de desempenho

Os critérios de desempenho correspondem a limitação dos índices obtidos pelos materiais e componentes da vedação, quando submetidos aos ensaios de **reação ao fogo** e **resistência ao fogo**, de modo a garantir a preservação de vidas humanas em caso de incêndio.

Os ensaios normalizados de **reação ao fogo** dos materiais determinam a *combustibilidade, propagação superficial de chama, desenvolvimento de fumaça, resistência à chama, ignescência, desenvolvimento de calor* e algumas verificações para determinadas aplicações,

como *toxicidade e densidade óptica de fumaça*. (IPT, 1998; MITIDIERI, 1998; CTE *et al.*, 1999).

A *combustibilidade* é determinada pelo método da ASTM E 136 (1996), que classifica como *não combustível* o material que não produzir chama que persista em sua superfície após um determinado tempo máximo. Para materiais combustíveis, que possuem combustibilidade graduada, esta combustibilidade é medida através de:

- propagação superficial de chama (NBR 9442, 1986; ASTM E 162, 1994; ASTM E 84, 1998); que é relacionada à velocidade com que o fogo alastra-se ao longo das superfícies e ao tempo em que se mantém sobre elas, podendo iniciar e/ou sustentar a combustão de outras partes do edifício.

A exposição da edificação a um eventual foco de incêndio não pode ser quantificada, devido à diversidade de materiais constituintes, dificultando a identificação de quais objetos irão se ignizar na fase inicial do incêndio. Em vista disso, não é possível definir as reais condições de exposição a que as superfícies dos elementos construtivos estarão sujeitas no incêndio. Entretanto, é possível superar essa dificuldade visto que pode-se estabelecer condições padronizadas de exposição que irão estabelecer critérios de desempenho, que as superfícies dos elementos devem atender, para garantir um nível adequado de segurança ao fogo, determinados em projeto, correlacionando-se índices extraídos dos ensaios com a função do elemento na edificação e sua provável influência no incêndio (IPT, 1998).

A norma NBR 9442 (1986) classifica os elementos construtivos nas classes A, B, C, D, e E que correspondem aos índices entre 26 e 75, entre 76 e 150, entre 151 e 400 e acima de 400, respectivamente.

- densidade óptica de fumaça e desenvolvimento de fumaça (ASTM E 662, 1994; ASTM E 84, 1998); que são relacionados à velocidade de obscurecimento das rotas de fuga e à probabilidade de intoxicação dos ocupantes ainda no interior da edificação. A densidade óptica de fumaça dos materiais é determinada sob condições específicas de exposição ao fogo. A capacidade dos materiais desenvolverem gases tóxicos é uma ameaça à sobrevivência na edificação incendiada, porém não existem ainda informações suficientes

para a fixação de critérios a respeito. Sugere-se a limitação da quantidade de fumaça gerada que tem ótima relação com sua toxicidade (IPT, 1998).

Os ensaios normalizados de *resistência ao fogo* são determinados pelos métodos da ISO 834 (1980) ou da ASTM E 119 (1998) que avaliam a capacidade de um material, durante um período de tempo, em conseguir conservar as suas características funcionais de isolamento térmica, estanqueidade a gases e chamas, integridade e estabilidade.

Em edifícios com estruturas metálicas, basicamente, as vedações exercem apenas a função de vedação e são avaliadas quanto à *integridade*, à *estanqueidade* e ao *isolamento térmico*, considerando que (IPT, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>; CTE *et al.*, 1999):

- *integridade* – implica que a vedação vertical não deve entrar em colapso nem apresentar fissuras ou deformações excessivas;
- *estanqueidade* – implica que durante o ensaio, a vedação não deve apresentar fissuras ou aberturas suficientes para permitir a passagem de gases quentes ou chamas para a face não exposta capazes de inflamar um chumaço de algodão padronizado em intervalo de tempo inferior a 10 segundos;
- *isolamento térmico* – na face não exposta ao fogo, a vedação não deve apresentar um aumento de temperatura médio superior a 140°C e aumento de temperatura em qualquer ponto superior a 180°C. Este critério só é aplicado a componentes que tenham função de separação de ambientes.

O Quadro 2.5 apresenta os critérios de reação ao fogo, em que as vedações são avaliadas em relação à propagação de chamas e ao desenvolvimento de fumaça e os critérios de resistência ao fogo sugeridos para vedações verticais a serem mantidos ao longo do tempo de  $R_{\text{fogo}}$  especificado, isto é, as vedações devem manter a estanqueidade e isolamento térmico por um período entre 30 e 90 minutos, de acordo com a altura da edificação para a facilidade de acesso para combate ao incêndio, bem como a ressalva quanto ao afastamento entre as edificações.

A norma NBR 14432 (2000) especifica que os critérios de resistência ao fogo, a serem mantidos ao longo do tempo de  $R_{\text{fogo}}$  especificado, são baseados em fatores condicionantes como tipologia da edificação, área, profundidade do subsolo, altura da edificação e facilidade

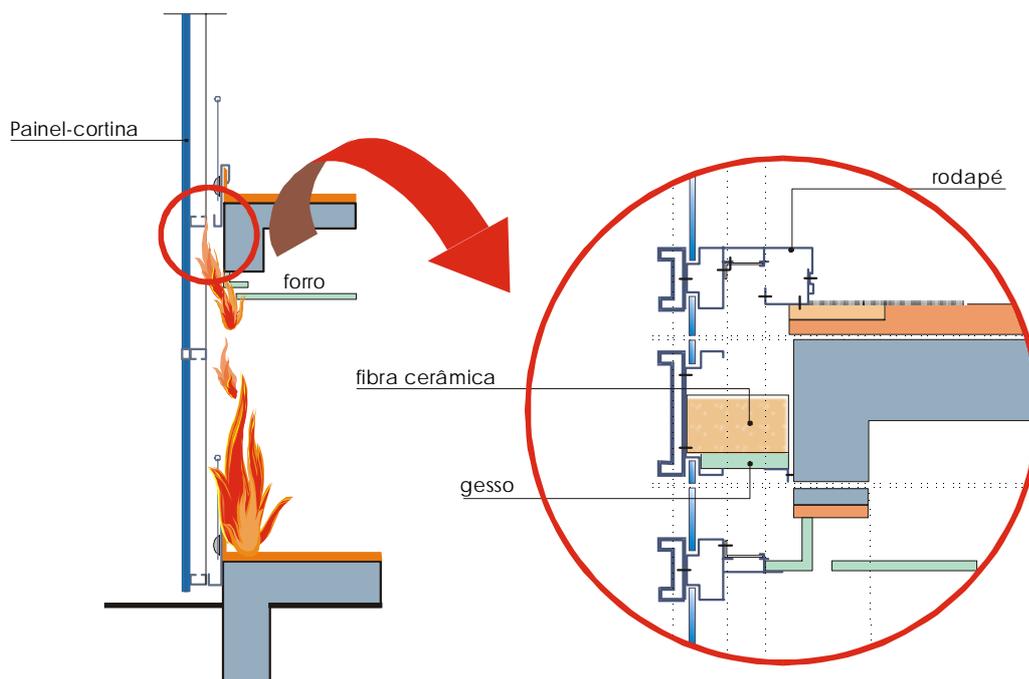
de acesso para combate ao incêndio. Os critérios nessa norma são aplicáveis às compartimentações horizontais e verticais, elementos estruturais e às saídas de emergência.

**Quadro 2.5: Critérios de reação ao fogo e resistência ao fogo para vedações verticais (a partir de IPT, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

Reação ao fogo				
Método de avaliação	Requisitos	Critérios		Índices máximos de propagação de chamas
NBR 9442	Propagação de chamas das superfícies no interior da edificação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vedações externas (superfície interna)</li> <li>• vedações internas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 75 a 150 – classe B e C</li> <li>• 75 – classe B</li> </ul>	
	Propagação de chamas das superfícies externas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• distância (d) entre vedações externas (análise de projeto)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>d &lt; 1,5m - 5</math></li> <li>• <math>1,5m \leq d &lt; 3m</math></li> <li>• <math>3m \leq d &lt; 5m</math></li> <li>• <math>5m \leq d</math></li> </ul>	
Método de avaliação	Requisitos	Critérios		Densidade óptica de fumaça
ASTM E 662	Desenvolvimento de fumaça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vedações internas</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300</li> </ul>
Resistência ao fogo - Vedações externas				
Método de avaliação	Requisitos	Critérios		
		Altura até 9m	Altura 9m a 28 m	Altura 28 a 60m
ISO 834	Integridade	1h	1h	1½ h
	Estanqueidade	½ h*	1h*	1½ h*
	Isolamento térmico	½ h*	1h*	1½ h*
Análise de projeto	Aspectos construtivos	Barreiras corta-fogo protegendo as peças de fixação e impedindo a circulação de fumaça e gases quentes pelas ligações com as lajes.		
* para afastamento < 1,5m, acrescentar 30 minutos.				

As fachadas de painéis-cortina projetam-se além das bordas das lajes gerando, a cada pavimento, pontos de descontinuidade na compartimentação ao longo de toda a altura do edifício, contribuindo para um possível alastramento do fogo.

No entanto, a utilização de detalhes de barreiras corta-fogo nas junções do fechamento perimetral com as vedações horizontais e verticais internas pode evitar a circulação de fumaça e a propagação do fogo entre as partes de edificação para este tipo de fachada, como pode ser observado na Figura 2.1 (SILVA, 1998<sub>b</sub>).



**Figura 2.1:** Corte esquemático de uma fachada de painéis-cortina mostrando a descontinuidade na compartimentação vertical e o detalhamento do encontro da fachada com a laje (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

## 2.6 Estanqueidade à água

### 2.6.1 Requisitos de desempenho

A vedação vertical, quando empregada como fechamento externo ou divisória das áreas molháveis, deve possuir adequada resistência à penetração da água além de ser estanque ao ar e ao vento (BAUER, 1987). Portanto, devem ser estanques à água da chuva, do solo e as decorrentes de operações de limpeza.

As exigências de estanqueidade visam garantir a habitabilidade, a durabilidade dos materiais e a vida útil das edificações. Essas exigências estão relacionadas às condições climáticas e à localização da edificação no terreno e são determinantes para o projeto de vedação (CTE *et al.*, 1999).

Os componentes constituintes do fechamento externo (paramento externo, material de isolamento, estrutura de enrijecimento e ancoragens<sup>14</sup>, conectores e juntas) devem resistir a

---

<sup>14</sup> Requisitos apenas para painéis de GRC.

penetração de água e impedir a passagem de ar, de gases e de materiais sólidos em suspensão (poeira, areia e fuligem).

O desempenho das vedações frente à ação da água depende do projeto, execução, materiais e manutenção. O não cumprimento de qualquer um desses fatores compromete o desempenho da edificação. Para tanto, o projeto e a qualidade de execução das vedações verticais são importantes para o atendimento desse requisito como também é o controle da entrada de água na edificação para manutenção do desempenho ao longo do tempo. Algumas recomendações são importantes na utilização de fachadas pré-fabricadas, podendo-se citar (MEDEIROS, 1998; CTE *et al.*, 1999):

- projeto, execução, controle de qualidade e plano de manutenção adequados às condições de exposição (projeto específico de vedação);
- concepção e projeto arquitetônico da fachada que contemple a adoção de detalhes construtivos que controlem o fluxo da água;
- especificação adequada de reforços e ligações da vedação pré-fabricada com estrutura para evitar fissuração (ancoragem e reforços resistentes à corrosão);
- no projeto, especificar e aplicar corretamente os selantes elásticos nas juntas entre painéis e de contorno com a esquadria e outros elementos da fachada;
- ainda no projeto, detalhes específicos de juntas para sistemas de vedação;
- controle da absorção dos componentes do subsistema vedação;
- detalhamento da interface das esquadrias com as vedações e das vedações com as estruturas.

### **2.6.2 Ação da água da chuva nas edificações**

A penetração da água de chuva nas edificações é influenciada, basicamente, pela quantidade de chuva e pela pressão do vento. Para que esta água atravesse a vedação externa, é necessário que ocorram três condições básicas e quase sempre simultaneamente:

- lâmina de água escorrendo pela fachada;
- aberturas que permitam a passagem da água (poros, fissuras e defeitos de execução);

- forças que conduzem a água através dessas aberturas (pressão do vento, sucção capilar, energia cinética das gotas e ação da gravidade).

Essas condições em conjunto e as aberturas presentes nas interfaces entre esquadria e vedações e juntas forçam a água da chuva para o interior da edificações permitindo infiltrações. O diâmetro da abertura disponível define quais dessas forças são preponderantes para a penetração de água (BAUER, 1987; PEREZ, 1998; MEDEIROS, 1998).

As gotas de chuva caem segundo uma trajetória vertical e só incidem nos planos verticais devido à sua interação com o vento, ocasionando, nas arestas e topos das edificações, turbulências, alterando sensivelmente a trajetória original e provocando concentrações de chuva.

Nas superfícies diretamente expostas à ação do vento, as solicitações de pressão aumentam com a altura da edificação. Esse fenômeno resulta na deflexão irregular da trajetória das gotas causando um umedecimento em forma de parábola nas arestas e topos da edificação (Figura 2.2) (MEDEIROS, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>).

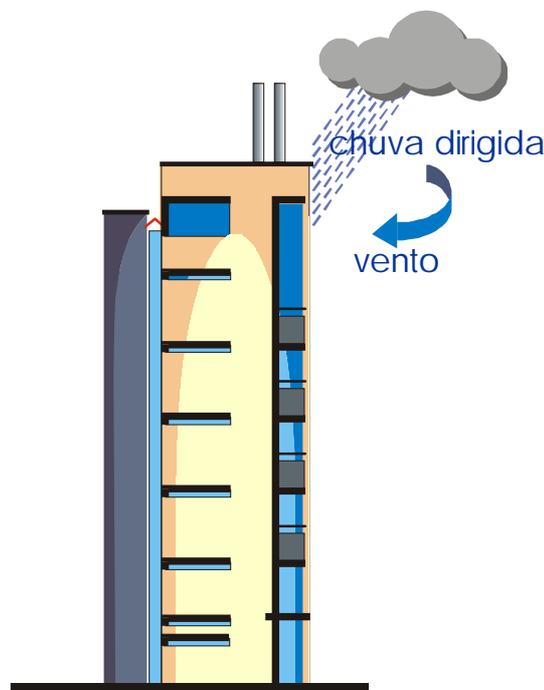


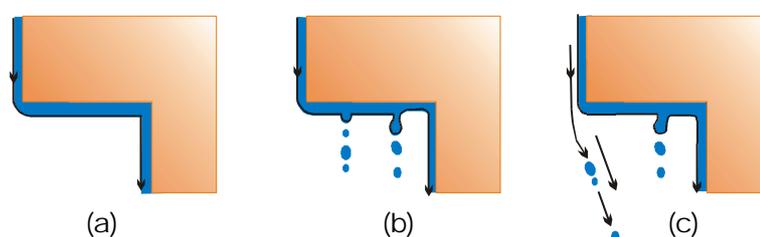
Figura 2.2: Umedecimento de fachada com concentração de umidade na região próxima ao topo e às arestas das fachadas (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

A penetração da chuva e do ar pode ocorrer tanto através das juntas entre os elementos constituintes da vedação externa, ou seja entre painéis ou entre vedações e portas e janelas, quanto dos próprios elementos dependendo de sua permeabilidade (MARSH, 1977).

### 2.6.3 Critérios de desempenho

A forma das superfícies da vedação externa e seus componentes podem afetar a percolação da água da chuva incidente no paramento externo. As vedações externas constituídas por materiais porosos absorvem a água da chuva até que a sua taxa de absorção seja superada, formando um filme d'água superficial.

Em fachadas com saliências nas superfícies (Figura 2.3), o gotejamento é intensificado à medida que o fluxo de água aumenta e o filme d'água ganha inércia suficiente para romper a tensão superficial da água e cair livremente. Já em fachadas planas, esse mecanismo não acontece, sendo mais relevante a porosidade do material, visto que por não haver o desprendimento do filme d'água a superfície externa acaba absorvendo água pelo tempo incidente (MARSH, 1977; BAUER, 1987).



**Figura 2.3:** Características de migração do fluxo da água superficial, conforme a taxa de incidência (BAUER, 1987).

Nas vedações externas pré-fabricadas, quando ocorrem problemas de execução ou fissurações das juntas por deformações, as juntas verticais passam a constituir um caminho preferencial para a penetração da água que tende a canalizar os fluxos diagonais vindos das superfícies adjacentes.

As arestas e topos da edificação também são pontos críticos de concentração do fluxo da água da chuva, independentemente do material e forma da superfície do fechamento externo. Portanto, é recomendado que qualquer junta vertical se mantenha afastada, pelo menos, aproximadamente, 200 mm das arestas das edificações (MARSH, 1977).

Os critérios de desempenho quanto à estanqueidade devem basear-se nas condições de precipitação e de ventos das várias regiões climáticas brasileiras e na análise de projeto para a determinação de detalhes construtivos, em atendimento ao requisito de estanqueidade, bem como a durabilidade do subsistema vedação. Os métodos de avaliação consistem na realização de ensaios de permeabilidade ao ar e estanqueidade à água das vedações verticais (PEREZ, 1988; MITIDIERI, 1998).

Seguindo esse princípio, o IPT apresenta critérios regionalizados<sup>15</sup>, sendo que o primeiro é relativo à **estanqueidade das aberturas presentes nas vedações externas**, avaliada segundo o método do MB 1226 e os dois últimos relativos à **estanqueidade das vedações externas e internas**, avaliada por métodos do IPT (Quadro 2.6) (IPT, 1998):

**Quadro 2.6: Critérios de estanqueidade para vedações verticais (a partir de IPT, 1998).**

<b>Critérios de estanqueidade</b>	
<b>aberturas nas vedações externas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• devem conferir ausência de vazamentos, escorrimentos ou qualquer forma de infiltração para os níveis de pressão estática entre 10 e 50 Pa e uma vazão de água fixa de 4L/m<sup>2</sup>/min.</li> <li>• não devem propiciar penetração de água que implique em escorrimento pela parede para níveis de pressão estática maiores entre 30 e 90 Pa, tolerando-se infiltrações que se restrinjam ao corpo da janela e formação de gotas de água aderentes.</li> </ul>
<b>vedações externas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• não devem permitir penetração de água que resulte em escorrimentos ou formação de gotas aderente após sete horas de exposição para os níveis de pressão estática entre 10 e 50 Pa e uma vazão de água fixa de 3L/m<sup>2</sup>/min.</li> <li>• tolera-se o aparecimento de manchas de umidade na face oposta à incidência da água, desde que a soma das áreas das manchas não ultrapasse 10% da área submetida à aspersão de água.</li> </ul>
<b>face interna das vedações externas e vedações internas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• diretamente em contato com áreas molháveis da edificação (cozinha, banheiros, lavanderias) não deve possibilitar infiltração de água. Entretanto, após 24 horas de exposição à água, a quantidade de água que penetra na parede não deve exceder a 3 cm<sup>3</sup> em uma área de 34 cm x 16 cm.</li> </ul>

## 2.7 Conforto térmico

### 2.7.1 Requisitos de desempenho

A vedação vertical deve apresentar isolamento e absorção térmica adequada aos padrões de habitabilidade pré-estabelecidos. Esse isolamento é influenciado pelas características dos

<sup>15</sup> O Brasil está dividido em cinco regiões para fins de verificação de estanqueidade à água da chuva (IPT, 1998).

materiais e componentes da vedação e especificados com base nas exigências de conforto térmico para as distintas regiões climáticas do país. Essas exigências devem garantir aos usuários da edificação níveis aceitáveis de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar interior durante todo o ano e devem ser fixados em função da quantidade e atividade do usuário e da resistência térmica de suas roupas (CTE *et al.*, 1999).

Em países de clima frio, a exigência essencial de desempenho térmico está relacionada a economia de energia e retenção de calor pela edificação. Fatores como aquecimento, condicionamento e ventilação devem ser previstos em projetos, sempre considerando aspectos de conservação de energia e a concordância com as condições climáticas decorrentes da localização e ocupação da edificação (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998).

No Brasil, os requisitos de desempenho térmico estabelecidos pelo IPT visam analisar a edificação e seus componentes sob uma abordagem dinâmica, ou seja, sob determinadas condições de exposição no inverno e no verão. Essa abordagem permite que a edificação seja classificada em três níveis de desempenho: **nível A** – as condições de conforto térmico são satisfatórias durante todo o dia; **nível B** – as condições são aceitáveis durante todo o dia; **nível C** – as condições são inaceitáveis. Essas condições de exposição são fixadas por região climática<sup>16</sup>, tendo em vista a diversidade climática do Brasil, e definidas a partir de valores que o conjunto de variáveis climáticas assume no inverno e no verão (MITIDIERI, 1998).

A vedação vertical externa tem grande influência no nível de conforto térmico que está associado às exigências dos usuários e depende da (i) temperatura do ar no interior, (ii) do risco de condensação, (iii) da presença de superfícies muito aquecidas ou muito frias, tanto no inverno como no verão. Esse nível de conforto deve ser entendido como um valor variável, onde o que interfere é a *inércia térmica* da edificação. Para tanto, considera-se o *fator de amortecimento* e o *fator de retardamento*, que são determinados a partir das propriedades<sup>17</sup> dos materiais empregados e das características do projeto da edificação. A sensação de conforto térmico para os usuários é obtido nas faixas de 20°C e 30°C de temperatura e 30% e 70% de umidade relativa (SILVA, 1998<sub>b</sub>; CTE *et al.*, 1999).

---

<sup>16</sup> O IPT estabeleceu oito zonas climáticas para fins de avaliação do desempenho térmico dos edifícios (MITIDIERI, 1998).

<sup>17</sup> Estas propriedades dos materiais podem ser o atraso térmico, a transmitância térmica e absortância à radiação solar.

No projeto de vedação vertical, essas exigências irão determinar as espessuras das vedações e os seus materiais constituintes, a orientação das fachadas, as características de revestimento e a cor da pintura a ser aplicada. Cabe ressaltar, ainda, que o projeto arquitetônico é fundamental para o eficiente desempenho energético da edificação, visto que esse desempenho é resultante da interação de fatores climáticos, fatores do entorno e fatores da edificação que, quando previstos no projeto, podem resultar em ações de racionalização do consumo de energia sem afetar as exigências humanas de conforto térmico (CARNEIRO, 1988; CTE *et al.*, 1999).

Quando o isolamento térmico é deficiente, os ambientes internos ora são excessivamente frios, ora excessivamente quentes, causando desconforto para o usuário devido à perda de calor do corpo por condução. Com isso, há um dispêndio de energia em condicionamento artificial durante a fase de utilização, que é um fator economicamente importante quando se considera aspectos de conservação de energia e do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do edifício.

Essa perda ou ganho de calor pela vedação externa é calculada pela combinação da temperatura e umidade relativa locais com a orientação e propriedades térmicas da vedação externa que, somada à contribuição das fontes internas de carga térmica<sup>18</sup>, determina a quantidade de calor a ser oferecida ou extraída do ambiente para mantê-lo nas condições ideais de temperatura e umidade (LAMBERTS *et al.*, 1997). Cabe ao projetista a seleção de materiais e sistemas construtivos capazes de evitar ganhos ou perdas de calor através da vedação externa. Assim, são importantes os *indicadores de desempenho*, que descrevem o comportamento térmico da vedação externa, e os *critérios de desempenho* que irão atender às exigências de instrumentos normativos e do cliente quanto ao conforto térmico da edificação.

### **2.7.2 Indicadores de desempenho térmico**

A *inércia térmica* faz com que a transmissão do fluxo de calor pelo componente não se dê imediatamente e está relacionada com a massa da vedação. Esse efeito de inércia é limitado apenas para vedações leves devido a sua massa reduzida.

---

<sup>18</sup> As fontes de carga térmica são números de ocupantes, iluminação artificial, equipamentos e infiltrações de ar (LAMBERTS *et al.*, 1997).

O *coeficiente de condutibilidade térmica* está relacionado com a capacidade do material de transmitir calor. Esse coeficiente é que classifica se um material é isolante ou condutor e varia com as características do material, temperatura e umidade.

A *resistência térmica* ( $R$ ), indicada em  $m^{\circ}C/W$ , é o parâmetro que caracteriza o comportamento do material em relação a fluxos de calor em regime permanente, que é determinado pela correlação da espessura do painel com a condutibilidade térmica do material.

A *condutância térmica* interna e externa é a capacidade que a superfície do elemento tem de troca de calor por irradiação e convecção, simultaneamente, com as superfícies vizinhas.

A *transmitância térmica* ( $U$ ), indicada em  $W/m^{\circ}C$ , é um coeficiente global de transmissão de calor e o inverso da resistência térmica total do elemento, obtida a partir da soma da resistência térmica das superfícies interna e externa da vedação (SILVA, 1998<sub>b</sub>; CET *et al.*, 1999). Para o adequado desempenho térmico da edificação também deve-se considerar todas as variáveis que fazem parte do projeto, tais como (CARNEIRO, 1988; IPT, 1998; CET *et al.*, 1999):

- localização da edificação - relação entre a arquitetura e o clima local, umidade relativa do ar, índice pluviométrico, velocidade do vento;
- entorno da edificação – tipologias das edificações vizinhas, existência de obstruções, vegetação, recobrimento do solo, topografia;
- caracterização da edificação – tipologia da edificação, uso da edificação
- orientações das aberturas e suas dimensões;
- características de ocupação – período de ocupação, número de pessoas e atividades desenvolvidas, número e natureza dos equipamentos instalados;
- exigências dos usuários.

### 2.7.3 Critérios de desempenho

O método de avaliação de desempenho térmico é, basicamente, determinado pela característica climática do local de implantação da edificação, sendo que é preciso decidir o

que é condição de regime permanente (regiões de clima quente, frio ou úmido) e o que deve ser considerado como condições dinâmicas (verão, inverno) (AKUTSU, VITTORINO, 1997).

No Brasil, não existem valores normalizados relacionados com conforto térmico em distintas zonas climáticas e com os materiais e componentes constituintes da edificação, que são imprescindíveis para o projeto (CTE *et al.*, 1999). Esses valores estão sendo levantados por pesquisadores da USP, UNICAMP, UFRGS, UFSC e UFES.

Os critérios sugeridos no Quadro 2.7 estão expressos em termos de *transmitância térmica* (U) que representa o comportamento térmico dos materiais no cálculo da parcela de carga de condicionamento introduzida pela envoltória da edificação.

Os critérios de transmitância térmica do Quadro 2.7 são obtidos conforme clima e orientação da fachada e devem ser analisados, em projeto, com as circunstâncias ambientais e financeiras da edificação. Esses critérios correspondem a 50% da resistência térmica (R) de uma parede de alvenaria<sup>19</sup>.

**Quadro 2.7: Critérios de desempenho térmico para vedações externas no Brasil (a partir de SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

Critérios sugeridos de desempenho térmico	
Fachadas sul	$U \leq 1,16 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ - ( $R \geq 0,7 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )
Fachadas norte, leste e oeste	$U \leq 0,93 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ - ( $R \geq 0,9 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )
U: transmitância térmica; R: resistência térmica	

## 2.8 Conforto acústico

### 2.8.1 Princípios da propagação do som

As edificações devem possuir uma capacidade de isolamento ou absorção acústica de forma a proteger seus ocupantes contra ruído e vibrações, possibilitando um determinado nível de conforto acústico definido em função dos padrões de habitabilidade. Esse aspecto é fortemente influenciado pelas características dos materiais e componentes empregados na produção dos painéis (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; CTE *et al.*, 1999).

<sup>19</sup> Paredes externas de alvenaria de blocos cerâmicos de 14,0 cm de largura, revestidas com 2,0 cm de argamassa em ambas as faces, apresentam resistência térmica de  $0,35 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  (IPT, 1998).

O **conforto acústico** está relacionado com às exigências e necessidades do usuário obtidas com base nos níveis de *ruídos externos* admissíveis para cada ambiente, nos níveis de ruídos provenientes da *interferência sonora interna* e, ainda, nos *ruídos* provocados por vibrações de máquinas e equipamentos hidráulicos transmitidos pela estrutura ou pelas vedações (Figura 2.4).



Figura 2.4: Ilustração que mostra algumas fontes de ruído (HARRISON & VEKEY, 1998).

Assim sendo, os principais requisitos relacionados ao conforto acústico referem-se à (HARRISON & VEKEY, 1998; CTE *et al.*, 1999):

- isolamento de ruídos exteriores (ruídos aéreos);
- isolamento entre ambientes (vedações internas);
- isolamento entre habitações (ruídos aéreos e choques);
- limitações dos níveis de ruído; reverberações do som.

O atendimento desses requisitos fundamenta-se no entendimento do comportamento do som que incide em um determinado componente. Uma parte do som é absorvida, outra parte é transmitida através do componente e outra parte é refletida. Esses três fenômenos ocorrem simultaneamente, entretanto, um pode ocorrer com maior intensidade que os demais. Portanto, pode-se dizer que um material é predominantemente refletor, absorvente ou isolante.

Uma fonte sonora incidente em uma edificação entra em vibração, tornando-se fonte secundária de propagação que permite a irradiação da onda sonora para ambos os lados do elemento. Nesse sentido, se um elemento estiver ligado direta ou indiretamente a outro, pode-se favorecer a formação de pontes acústicas.

Essas pontes acústicas podem ser eliminadas apenas em projeto, desde que criem descontinuidades que impeçam a propagação do som ao longo dos elementos construtivos (SILVA, 1998b; CTE *et al.*, 1999).

O isolamento sonoro mínimo que uma vedação deve proporcionar deve ser fixado a partir dos tipos de ruídos que possam ocorrer em uma determinada edificação.

### **2.8.2 Requisitos de desempenho**

O requisito de desempenho acústico para vedações verticais externas refere-se à capacidade de isolação sonora de ruídos aéreos e de impactos desagradáveis aos ocupantes (principalmente em edifícios localizados em regiões de elevados índices de poluição sonora), que são originados por ações normais interiores ou exteriores, incluindo vibrações e incômodos provenientes da ação do vento, da chuva, do granizo e dos ruídos nos componentes e nas fixações resultantes das variações dimensionais das peças de painéis pré-fabricados.

Para as vedações internas deve-se considerar a necessidade de privacidade de cada ambiente, principalmente as vedações de separação de unidades habitacionais distintas (HARRISON & VEKEY, 1998).

A avaliação de desempenho acústico, na etapa de projeto, deve considerar todo o subsistema vedação vertical, ou seja, não apenas o paramento externo e/ou interno, mas as esquadrias e aberturas existentes.

### 2.8.3 Critérios de desempenho

Os critérios de desempenho são estabelecidos em termos da *redução mínima de ruído externo* que as vedações externas deverão proporcionar de forma a manter o nível de ruído de fundo desejado no ambiente. A redução mínima de ruído pode ser definida para cada banda de frequência (índice de redução sonora<sup>20</sup>).

A normalização brasileira tem como base as normas americanas, que utilizam como indicadores de isolamento sonora a *classe de transmissão sonora aérea* (CTSA), que constitui um indicador único de desempenho global da vedação quanto ao isolamento de sons graves, médios e agudos em relação à frequência de 500 Hz e determinados em laboratório, exclusivamente, para um componente ou subsistema. Nesse caso, também são considerados fatores de correção para cada banda de frequência (deficiência máxima<sup>21</sup>).

O índice da CTSA é resultante da comparação entre a curva de índices de redução acústica da vedação e uma curva padrão de isolamento sonora. A CTSA à qual as vedações externas devem pertencer é obtida pelo cruzamento das condições de exposição ( $L_{eq}$  dB(A))<sup>22</sup>, medidas no local de implantação (Quadro 2.8), com os requisitos de exigências dos usuários (SILVA, 1998<sub>b</sub>; CTE *et al.*, 1999).

**Quadro 2.8: Grau de poluição sonora conforme o nível sonoro contínuo equivalente ( $L_{eq}$ ) medido no local de implantação (SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

Poluição sonora	$L_{eq}$ na face externa da vedação
Baixa	$L_{eq} \leq 35$ dB(A)
Moderada	$35 < L_{eq} \leq 50$ dB(A)
Acentuada	$50 < L_{eq} \leq 65$ dB(A)
Grave	$65 < L_{eq} \leq 70$ dB(A)

<sup>20</sup> O índice de redução sonora é a representação em dB da relação entre a energia sonora incidente e a energia transmitida pelo anteparo - ISO 140/III (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

<sup>21</sup> O índice de redução sonora ponderado (*weighted sound reduction index* –  $R_w$ ), definido na ISO 713, parte 3 (1982) é semelhante à CTSA, entretanto é menos utilizado e não considera fatores de correção no cálculo.

<sup>22</sup> O nível de ruído equivalente ( $L_{eq}$ ) corresponde ao ruído contínuo cuja energia num certo período é igual à energia total de uma sucessão de ruídos discretos ocorridos no mesmo período (NBR 10.152, 1987).

No Brasil, a NBR 10.152 (1987) estabelece faixas de pressão sonora de conforto, também em dB(A), e curvas de avaliação de ruído (curvas NC – *noise control*) que permitem avaliar todo o espectro sonoro e identificar as bandas de frequência que necessitem correção. O critério de pressão sonora deve satisfazer, minimamente, às necessidades de conforto dos usuários nos ambientes, de acordo com o nível exigido pelas atividades que abrigam ou para permitir o repouso noturno (IPT, 1998).

Para as vedações internas entre unidades habitacionais, o critério de desempenho é estabelecido em termos da *redução mínima de ruído interno* que as vedações deverão proporcionar de forma a manter o isolamento sonoro bruto entre habitações adjacentes, que também é medido em dB(A). O nível máximo de pressão sonora para vedações internas entre unidades habitacionais é 45 dB(A). O critério deve proporcionar aos ambientes internos a necessária privacidade sonora entre as residências (IPT, 1998).

## **2.9 Durabilidade e economia**

### **2.9.1 Requisitos de desempenho**

Entende-se por durabilidade a capacidade de um produto, componente ou sistema em manter suas propriedades e suportar os efeitos da degradação pelo uso e pelo ambiente, ao longo do tempo, sob condições normais de uso.

A vida útil de uma edificação é influenciada pela vida útil de seus componentes, necessitando que suas propriedades permaneçam acima de limites mínimos admissíveis nas condições de serviço durante um período de tempo.

As vedações verticais interagem com o meio ambiente ficando sujeitas à exposição de agentes agressivos com diferentes níveis de agressividade. Esses vários agentes de degradação atuam de forma diferenciada, conforme a natureza dos materiais, as condições de uso e a exposição a esses agentes agressivos (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998; CTE *et al.*, 1999).

De um modo geral, os agentes de degradação são decorrentes de três fontes:

- do projeto – compatibilidade química, compatibilidade física, cargas permanentes e periódicas;
- relativos ao uso – esforços de manobra, agentes químicos normais em uso doméstico;

- provenientes da atmosfera – água no estado líquido, umidade, temperatura, radiação solar, ar, gases ácidos, bactérias, insetos, chuvas ácidas, névoa salina e ventos com partículas em suspensão.

A ação do meio ambiente ocorre em conjunto com os efeitos de distintos agentes de degradação, com um resultado maior do que apenas a soma dos agentes atuando individualmente, o que também deve ser considerado para avaliação da durabilidade.

Além disso, cada componente da edificação possui um comportamento diferenciado no que diz respeito à degradação ao longo do tempo, principalmente, devido às características de seus materiais constituintes (CIRIA, 1992<sub>a</sub>; SHARMAN, 1994; HARRISON & VEKEY, 1998). Os princípios de degradação para os painéis de concreto e de GRC, estudo de caso desta dissertação, serão relatados nos *Capítulos 3 e 4*.

A quantificação da vida útil orienta a seleção de sistemas e materiais, o planejamento da manutenção e o cálculo do custo global e do impacto ambiental dos edifícios. A manutenção, reparo e/ou substituição de seus componentes não devem ser exigidos frequentemente, para tanto, faz-se necessário o planejamento da manutenção de maneira a preservar a edificação em bom funcionamento durante a vida útil prevista em projeto. Além disso, nesse planejamento, são relevantes as facilidades de substituição das peças, cujas substituições são necessárias e que, portanto, devem ser facilmente encontradas no mercado, ainda na fase de projeto (IPT, 1998; CTE *et al.*, 1999).

Ultimamente, a durabilidade é um requisito que tem tido importância no projeto arquitetônico, visto que algumas instituições em países como Reino Unido, Nova Zelândia, Canadá e Japão têm elaborado normas que contemplam a importância desse requisito ainda na fase de estudo preliminar do projeto arquitetônico. As instituições desses países são unânimes na concordância que durabilidade e controle da qualidade são requisitos essenciais para o projeto (SHARMAN, 1994; SONORIS, 1996).

O projeto arquitetônico sempre começa por um processo de pré-planejamento, com inclusão da seleção de materiais e suas relativas posições na edificação. Considerações de durabilidade, no projeto, demandam um conhecimento extensivo e um entendimento da vida útil dos materiais por parte dos projetistas. Essa é uma questão de grande significado que requer informações precisas na tomada de decisões.

### 2.9.2 Critérios de desempenho

Os requisitos e critérios de desempenho visam limitar o nível de degradação do componente submetido à ação desses agentes e impedir a utilização conjunta de materiais incompatíveis e de detalhes construtivos que possam contribuir para a diminuição da vida útil.

Os métodos de avaliação de durabilidade são fixados a partir da definição de requisitos e critérios de desempenho e estão associados a (HARRISON & VEKEY, 1998; MITIDIERI, 1998; CTE *et al.*, 1999):

- ensaios acelerados em materiais e componentes que simulam a ação do calor, umidade, radiação ultravioleta, intempéries, agentes de limpeza, agentes químicos, agentes biológicos e água;
- análise de projeto e inspeção em protótipo, visando identificar incompatibilidades entre materiais e detalhes construtivos que possam afetar a durabilidade.
- ensaios que reproduzem as condições de exposição, relacionados a ensaios de desempenho, tais como: impactos de corpo mole e corpo duro, solicitações transmitidas por portas, solicitações transmitidas por peça suspensas, etc.
- julgamento técnico de especialistas através da análise do projeto e inspeções em protótipos dos produtos.

A ISO 7361 (1986) determina alguns requisitos que contribuem para o decréscimo da durabilidade de fachadas em painéis pré-fabricados, tais como: impacto, aspecto, estanqueidade a água e ao ar e isolamento térmico e toma como *indicadores* de degradação a ocorrência de ações perpendiculares à fachada provocadas por restrição de deformações, a perda de planeza e a deterioração superficial da fachada, a redução da estanqueidade e da resistência térmica.

A vida útil de uma edificação está relacionada com a vida útil de seus componentes, com a qualidade dos materiais utilizados e com a execução de sua construção e manutenção. Em resumo, a vida útil de um produto, componente ou sistema deve ser igual a vida útil da edificação.

Na prática, as partes da edificação devem também assegurar a vida útil de qualquer elemento que é de difícil reposição e inspeção. Em termos gerais, considera-se a vida útil de 50 anos para a edificação.

Entretanto, para componentes não estruturais externos e internos, considera-se que a vida útil possa ser menor do que a da edificação como um todo, sendo que a sua necessidade de manutenção, somada à facilidade de reparo e substituição, não devem ser excessivas.

Quanto maior o grau de dificuldade de manutenção, reparo e/ou substituição, a vida útil do componente deverá ser próxima à vida útil da edificação de maneira a garantir o desempenho global da edificação.

Vale ressaltar que os critérios relativos à durabilidade não prescrevem a vida útil da edificação, mas fornecem orientações do comportamento de suas partes ao longo do tempo, possibilitando a identificação de componentes que possam vir a ser repostos ou que devam ser submetidos à manutenção periódica (MITIDIARI, SOUZA, 1994; SHARMAN, 1994; HARRISON & VEKEY, 1998; IPT, 1998; CTE *et al.*, 1999).

O Quadro 2.9 apresenta os critérios relativos à durabilidade do subsistema vedação vertical.

**Quadro 2.9: Critérios relativos à durabilidade das vedações verticais (a partir de SHARMAN, 1994; ISO CD 15681-1, 1997).**

<b>Durabilidade</b>	
<b>Vedação vertical externa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>componentes não substituíveis</i> - a vida útil da vedação externa deve ser de pelo menos igual a 25 anos;</li> <li>• <i>componentes passíveis de reparo ou substituição</i> são necessárias pelo menos duas intervenções de manutenção, considerando intervalos de 10 anos (frequência normal de manutenção);</li> <li>• <i>construções com vida útil superior a 25 anos</i> - substituição completa da vedação externa.</li> </ul>
<b>Vedação vertical interna</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• devido à facilidade de manutenção, reparo e/ou substituição, a vida útil da vedação interna deve ser de pelo menos 15 anos.</li> </ul>

## 2.10 Critérios mínimos de desempenho para vedações verticais

O Quadro 2.10 apresenta um resumo global dos critérios sugeridos para vedações externas e internas, sem função estrutural, para os requisitos de segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade.

Quadro 2.10: Critérios mínimos de desempenho sugeridos para vedações verticais sem função estrutural.

Segurança estrutural	Vedação externa	Cargas horizontais	Def. Horizontal ( $d_h$ ) $\leq$ h/350; Def. Horizontal Residual ( $d_{hr}$ ) $\leq$ h/1750		
		Impacto de corpo duro	Pavimento térreo - 10J** ; demais pavimentos - 3,75J**		
		Impacto de corpo mole	Pavimento térreo - 60J* , 750J** ; demais pavimentos 120J**		
		Cargas suspensas	$(d_h) \leq$ h/500; $(d_{hr}) \leq$ h/2500		
		Interações com portas	240J para impactos de corpo mole		
	Vedação interna	Cargas horizontais	Def. Horizontal ( $d_h$ ) $\leq$ h/500; Def. Horizontal Residual ( $d_{hr}$ ) $\leq$ h/2500		
		Impacto de corpo duro	Todos os pavimentos - 2,5J* , 10J**		
		Impacto de corpo mole	Todos os pavimentos - 120J* , 240J**		
		Cargas suspensas	$(d_h) \leq$ h/500; $(d_{hr}) \leq$ h/2500		
		Interações com portas	240J para impactos de corpo mole		
* impacto de utilização, ** impacto de segurança					
Segurança ao Fogo	Requisitos		Critérios com base na altura das edificações		
			Altura até 9m	Altura 9 a 28m	Altura 28 a 60m
	Integridade		1h	1h	1h e 30 min
	Estanqueidade		30 min*	1h*	30 min*
	Isolamento térmico		30 min*	1h*	30 min*
* para afastamento < 1,5m, acrescentar 30 minutos					
Estanqueidade	Vedação externa		Vedação interna		
	Não deve permitir penetração de água que resulte em escorrimentos ou gotas aderente após sete horas de exposição para os níveis de pressão estática entre 10 e 50 Pa e uma vazão de água fixa de 3L/m <sup>2</sup> /min.		Não deve possibilitar infiltração de água. Entretanto, após 24 horas de exposição à água, a quantidade de água que penetra na parede não deve exceder a 3 cm <sup>3</sup> em uma área de 34 cm x 16 cm.		
Conf. térmico	Critérios sugeridos para vedação externa				
	Fachadas sul		$U \leq 1,16 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ( $R \geq 0,7 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ )		
	Fachadas norte, leste e oeste		$U \leq 0,93 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ( $R \geq 0,9 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ )		
U: transmitância térmica; R: resistência térmica					
Conf. acústico	Poluição sonora		Critérios sugeridos - $L_{eq}$ em dB(A) na face externa da vedação		
	Baixa		$L_{eq} \leq 35 \text{ dB(A)}$		
	Moderada		$35 < L_{eq} \leq 50 \text{ dB(A)}$		
	Acentuada		$50 < L_{eq} \leq 65 \text{ dB(A)}$		
	Grave		$65 < L_{eq} \leq 70 \text{ dB(A)}$		
Durabilidade	Vedação externa				
	<i>Componentes não substituíveis</i> - vida útil de 25 anos; <i>componentes passíveis de reparo ou substituição</i> - duas intervenções de manutenção com intervalos de 10 anos;				
	<i>Construções com vida útil superior a 25 anos</i> - substituição completa da vedação externa.				
	Vedação interna				
Devido à facilidade de manutenção, a vida útil da vedação interna é de 15 anos.					

## **2.11 Considerações sobre o capítulo**

A avaliação de desempenho é uma área importante de pesquisa, necessária para a concepção do projeto, seleção e especificação de materiais, componentes e sistemas construtivos, previsão de vida útil e manutenção da edificação. Através dessa avaliação, pode-se obter a precisão e o alcance de problemas futuros nas edificações.

O Brasil ainda não dispõe de documentos normativos que avaliem as novas tecnologias construtivas com base nos requisitos e critérios de desempenho. Esse mesmo problema pode ser identificado em nível internacional, pela deficiência ou ausência de métodos normalizados que apresentem critérios para todos os requisitos de desempenho enunciados para vedações verticais internas e externas.

O projeto da vedação vertical deve levar em consideração todos os requisitos relacionados ao desempenho da edificação, tais como segurança estrutural, resistência ao fogo, isolamento acústico e térmico, estanqueidade e durabilidade. Portanto, a elaboração do projeto arquitetônico e seus detalhes, incluindo alguns cuidados na seleção e especificação dos materiais, componentes e sistemas construtivos, bem como critérios de controle, precisam, necessariamente, ser conduzidos com base nesses requisitos e critérios.

As vedações verticais e seus componentes constituintes, de um modo geral, devem, necessariamente, ter uma estabilidade funcional capaz de resistir aos movimentos provenientes das deformações, ações do vento, de variações de umidade e térmicas de forma a manter a sua integridade e não comprometer o desempenho global da edificação.

Observa-se que as vedações internas são protegidas dos agentes mais agressivos (variação térmica, incidência da água da chuva, ação do vento), enquanto esses mesmos agentes têm influência direta nas vedações externas, que estão sujeitas a um nível de solicitação muito mais intenso. Nesse contexto, as vedações verticais internas e externas têm um comportamento bastante diferenciado, necessitando uma avaliação de desempenho conforme a sua utilização e um projeto específico que contemple as características e solicitações distintas.

Em se tratando de vedações em painéis pré-fabricados, o desempenho das juntas é essencial para a garantia dos requisitos de segurança, habitabilidade e durabilidade. A eficiência das

fixações à estrutura principal do edifício deve ser avaliada como parte do requisito de segurança estrutural.

A especificação para desempenho permite a definição de critérios que irão direcionar os aspectos de projeto, produção e execução das vedações verticais adequados às condições de contexto, tipologia e uso da edificação. Nesse sentido, nos capítulos 4 e 5, são apresentados aspectos de fabricação, projeto e montagem de *painéis de concreto* e *painéis em GRC* com ênfase em desempenho, bem como características, propriedades e tipos de painéis disponíveis no mercado nacional e internacional. Além disso, faz-se um relato das vantagens do seu emprego na produção de edifícios, visto que são alternativas racionalizadas de vedações verticais e compatíveis com a velocidade de execução de edifícios com estruturas metálicas.

### **3. PAINÉIS DE CONCRETO**

#### **3.1 Introdução**

Os painéis de concreto foram introduzidos no mercado internacional nos anos 50, sob o impulso dado pelo movimento modernista na arquitetura e pela produção de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos. Esses painéis podem ser utilizados como elemento estrutural ou apenas como elemento de vedação. No caso de edifícios com estruturas metálicas, os painéis de concreto são quase sempre empregados apenas com função vedante.

Após o auge de utilização dos anos 60, notou-se um declínio no emprego desses painéis devido à limitação estética resultante do rigor imposto pela padronização dos componentes. Nos últimos anos, foi iniciada a utilização de painéis de concreto arquitetônico, tecnologia que consiste em painéis com maior flexibilidade de formas e dotados de revestimento incorporado, o que elimina os custos diretos e indiretos associados à etapa de revestimento externo, permitindo aos projetistas uma variedade de soluções arquitetônicas (SILVA, PEREIRA, LANA, 2001).

No Brasil, os primeiros painéis pré-fabricados utilizados foram os painéis de concreto, que eram empregados basicamente em edifícios industriais. Atualmente, com o aprimoramento das tecnologias de produção (painéis de concreto arquitetônico) houve uma maior utilização desses painéis em edifícios residenciais. Os fabricantes nacionais que disponibilizam essas tecnologias encontram-se no estado de São Paulo.

Os painéis de concreto arquitetônico são componentes pré-fabricados, constituídos por uma malha metálica, enrijecedores horizontais e verticais. Podem ser planos ou receber nervuras para aumentar as dimensões sem acréscimo de espessura ou armadura. Enquadram-se nas vedações pesadas, possuem densidade superficial superior a 100 kg/m<sup>2</sup> e, geralmente, são utilizados como vedação externa.

A utilização desses painéis na produção de edifícios possui vantagens potenciais em relação à alvenaria, além de possibilitar grande flexibilidade nos projetos. O Quadro 3.1 apresenta as vantagens e desvantagens da utilização de painéis de concreto.

As fotos 3.1 a 3.6 ilustram, no mercado internacional e nacional, algumas aplicações de painéis de concreto.

**Quadro 3.1: Vantagens e desvantagens dos painéis de concreto (a partir de PCI, 1989; HARRIMAN, 1991; BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998; HARRISON, VEKEY, 1998).**

Vantagens	Desvantagens
Vantagens econômicas devido a possibilidade de padronização dos painéis	Alto custo quando utilizados vários tipos de painéis, pelo custo de formas extras e o não reaproveitamento dos moldes especiais
Resistência ao fogo, inércia térmica e acústica, boa relação resistência/peso próprio	Grande peso, dificultando o manuseio no transporte e na execução
Variedade de dimensões e de acabamentos	Falta de normalização
Durabilidade compatível com vida útil de projeto, necessitando de poucas intervenções de manutenção	Dificuldades de manutenção devido ao seu grande peso
Revestimentos podem ser incorporados na própria fábrica	Ação dos agentes agressivos provoca manchas nos painéis
Possibilidade de emprego de painéis com função estrutural	Problemas de corrosão se não forem adotadas devidas recomendações de projeto e produção
Facilidade de instalação de caixilhos e ou material de isolamento	
A pré-fabricação possibilita o controle de qualidade e inspeção dos painéis	

Pretende-se, neste capítulo, apresentar os aspectos de produção, projeto e montagem com ênfase na avaliação de desempenho dos painéis de concreto, bem como as vantagens de sua utilização no fechamento de edifícios com estruturas metálicas. A escolha do painel de concreto para análise, deve-se ao fato de caracterizar-se por uma alternativa de vedação pesada em matriz cimentícia e ser uma tecnologia disponível no mercado nacional. Além disso, por ser uma tecnologia industrializada, há a necessidade da compatibilização das diversas áreas técnicas na elaboração de projetos dos processos construtivos e de acompanhar a velocidade de execução de edifícios com estruturas metálicas.

Com base em uma extensa revisão literária, visitas técnicas e contatos com fabricantes, nos itens 3.3 e 3.4 são apresentados aspectos de produção, projeto e montagem dos painéis de concreto.

Os conceitos sobre avaliação de desempenho introduzidos no *Capítulo 2* fornecem subsídios à avaliação de desempenho de painéis de concreto, discutida nos itens 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3.

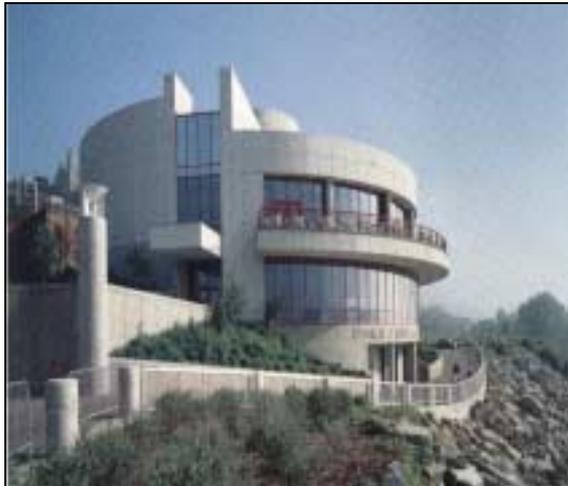


Foto 3.1: Boathouse at Sawyer Point Cincinnati, Ohio (PCI, 1989).



Foto 3.2: Commissioners of Republic Works Administrative Offices Charleston, South Carolina (PCI, 1989).



Foto 3.3: Arc de La Defense, Paris.



Foto 3.4: Edifício em painel de concreto, Paris.



Foto 3.5: Shopping Center, Boston.



Foto 3.6: Ed. Night Building, São Paulo.

### 3.2 Características dos painéis de concreto

Os painéis de concreto arquitetônico, basicamente, podem ser empregados na edificação de três maneiras (PCI, 1989; KONCZ, 1995; LORDSLEM, 1998; KRÜGER, 2000):

- **painéis-cortina:** são painéis com função não-estrutural em que apenas os seus elementos resistem e transferem o carregamento causado por cargas de vento e peso próprio para a estrutura principal da edificação. Esses painéis, geralmente, são utilizados como vedação externa, que fixados à estrutura e nas lajes, recobrem externamente toda a estrutura da edificação. A principal vantagem é a sua remoção do local sem afetar a estabilidade estrutural da edificação. Entretanto, o emprego de painéis-cortina em vedações externas implica a necessidade de barreiras contra o fogo detalhadas em projeto, de maneira a garantir o desempenho em relação ao fogo como foi apresentado na *Figura 2.1* do *Capítulo 2*.
- **painéis de vedação:** são painéis utilizados como paredes divisórias, externamente ou internamente, que fixados à estrutura e nas lajes não precisam recobrir externamente toda a estrutura da edificação e que, também, não possuem função estrutural.
- **painéis estruturais:**<sup>23</sup> são painéis com função estrutural que, além de suportarem o carregamento causado por cargas de vento e peso próprio, suportam cargas das lajes. Esses painéis podem ser produzidos em grandes dimensões, com vãos de um pavimento ao outro ou até de dois pavimentos, o que possibilita a sua utilização em edifícios altos. Entretanto, os painéis portantes não podem ser removidos, pois afetam a integridade e estabilidade estrutural da edificação.

### 3.3 Aspectos de fabricação e de produção que influenciam no desempenho

A produção dos painéis de concreto pode ser feita na fábrica ou, quando há espaço e condições, na própria obra, eliminando custos referentes ao transporte. Os painéis utilizam como matérias-primas areia, cimento e brita além de aditivos, adições e pigmentos, selecionadas de acordo com as características requeridas, como aparência, cor, rigidez, absorção de água, permeabilidade e durabilidade.

---

<sup>23</sup> Os painéis de concreto estruturais não são utilizados em edifícios com estruturas metálicas.

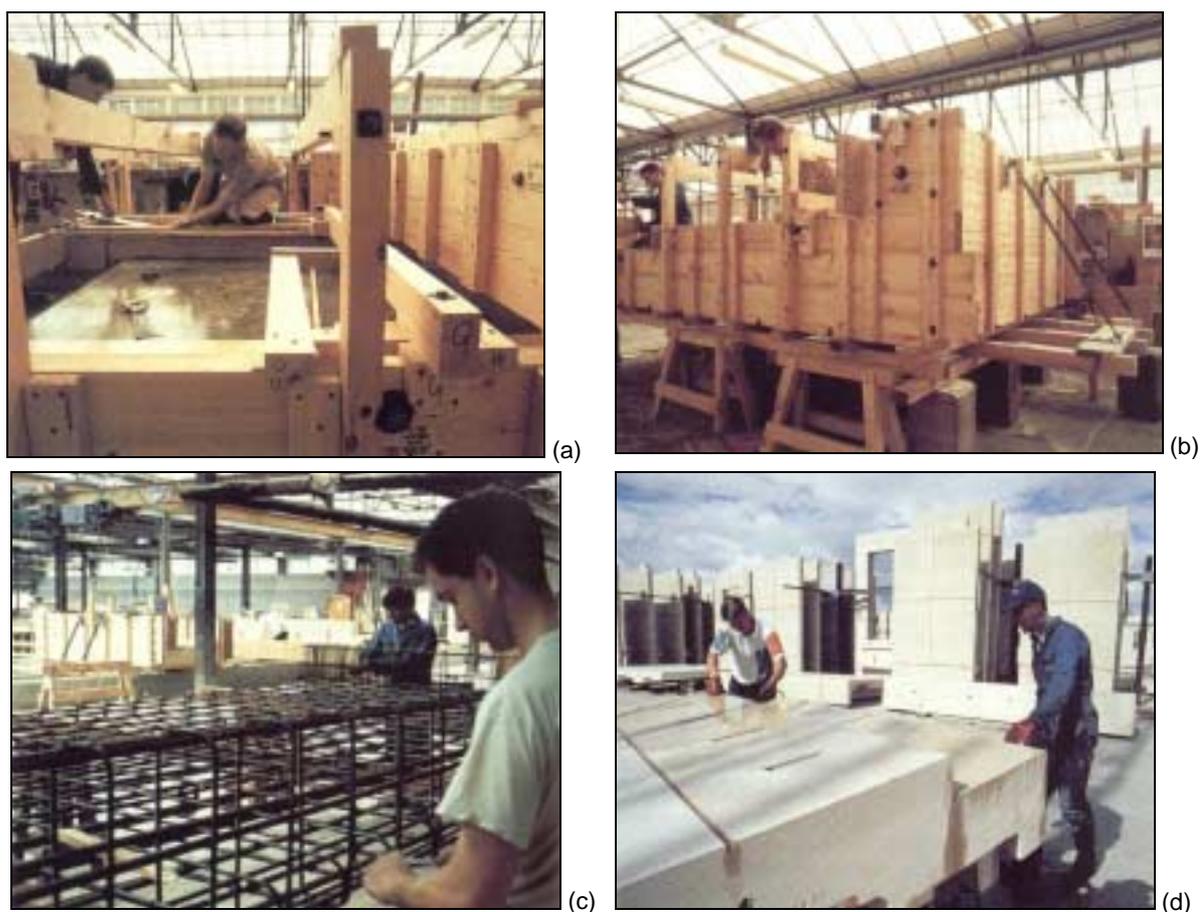
Em geral, a maioria das misturas contém agregados com dimensão máxima característica inferior a 20 mm e com teor de finos suficiente para garantir o acabamento superficial desejável. Geralmente, são utilizados granitos, basaltos e calcários como agregados (DAWSON, 1995; KISS, 2000).

A mistura dos materiais constituintes do concreto é efetuada através de dosagem experimental, meticulosamente estudada, sendo necessário avaliar as qualidades e propriedades dos materiais em função das características e desempenho do concreto especificado em projeto. Entretanto, a água, na mistura, merece uma atenção especial, pois em quantidade insuficiente leva a obtenção de um concreto muito seco, dificultando a obtenção da compacidade adequada e em grande quantidade leva a um concreto com muita segregação (ANDRIOLO, 1984; METHA, 1994; ABREU, KATAR, 1999). Para painéis de concreto arquitetônico, a relação água/cimento recomendada é de 0,4 para a obtenção de um concreto de consistência plástica, com menor absorção de água e menor retração hidráulica para a garantia dos requisitos de segurança estrutural, estanqueidade e durabilidade do painel (FREEDMAN, 1998).

A produção de painéis de concreto baseia-se em sistema de operações mecanizadas, seqüenciais e subordinadas a ações organizadas que definem a sua industrialização. Além disso, é imprescindível o detalhamento e especificação de todos os materiais constituintes do concreto, da armação a ser utilizada e do posicionamento de todos os pontos de eletrodutos e tubulações das instalações prediais. A produção subdivide-se em armação, concretagem e desforma. A desforma deve ser feita após, no mínimo, 16 horas ou até o painel adquirir resistência suficiente para os esforços durante a desforma, manuseio, transporte e içamento dos painéis. A resistência a compressão final pode variar de 40 a 70 MPa. Quando a produção é feita dentro do canteiro de obras, o planejamento da obra e o detalhamento do projeto são fundamentais, tanto para a construção propriamente dita quanto para um bom funcionamento da atividade industrial (DAWSON, 1995; MEDEIROS, 1996; LORDSLEEM, 1998; KISS, 1999<sub>b</sub>).

A escolha do material do molde é determinada pelo reaproveitamento da forma, o que tem grande influência nos custos de produção. O material utilizado nas formas pode ser aço, madeira ou GRP (poliester reforçado com fibra de vidro).

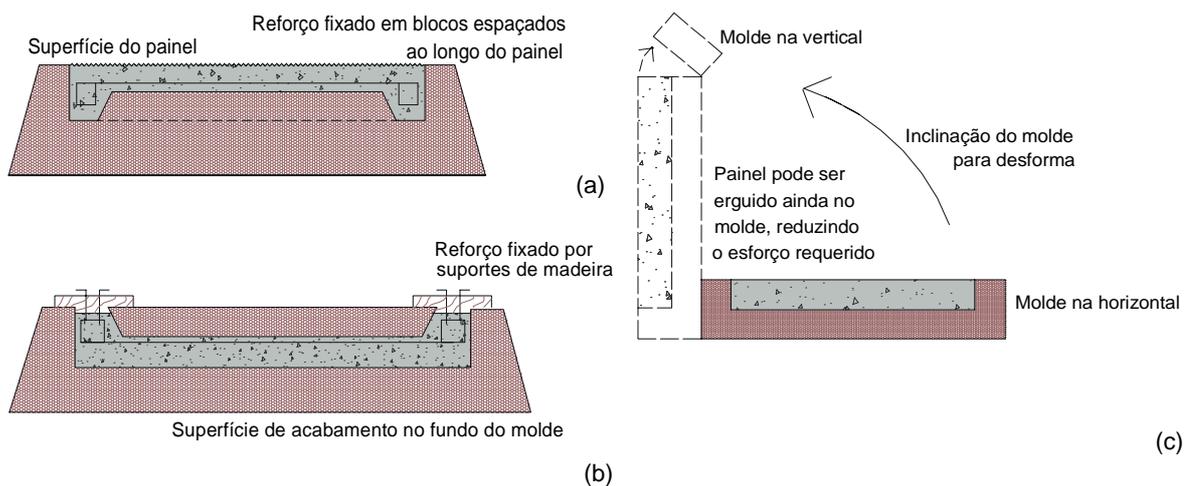
A utilização de formas de madeira é a opção mais econômica na fabricação de painéis simples; as formas em aço possibilitam uma maior precisão na fabricação e podem ser utilizadas em até 150 vezes, entretanto, o seu custo é alto; já as formas em GRP, apesar de também possibilitarem precisão na modulação, necessitam de manutenção por serem mais suscetíveis a danificações (DAWSON, 1995; BROOKES, 1998). Os painéis devem ser submetidos à cura úmida por no mínimo 7 dias ou curados a vapor em temperatura maior que a temperatura ambiente, com ciclo médio de duração de 14 horas conforme o tipo de cimento (SILVA, 1998<sub>a</sub>). A Figura 3.1 ilustra a seqüência de produção de painéis de concreto com formas em madeira: fabricação dos moldes de madeira (Figura 3.1a e Figura 3.1b), armação do painel (Figura 3.1c) e o acabamento superficial do painel com aplicação de ácido para exposição do agregado (Figura 3.1d) (DAWSON, 1995).



**Figura 3.1:** Etapas da produção de painéis de concreto: (a) produção do molde de madeira; notar em (b) o escoramento lateral para evitar empenamento lateral; (c) armação do painel; (d) exposição de agregado através de banho de ácido (DAWSON, 1995).

Existem três técnicas de moldagem de painéis de concreto arquitetônico (PCI, 1989; DAWSON, 1995; MEDEIROS, 1996; BROOKES, 1998):

- **face acabada para cima:** que permite acabamento superficial do painel ainda no molde. O acabamento é obtido durante a operação de pré-moldagem. Vários efeitos são conseguidos, como exposição do agregado através da utilização de jato d'água antes da cura do concreto, acabamentos decorativos através da utilização de vassoura e colher de pedreiro e acabamento liso (Figura 3.2a);
- **face acabada para baixo:** com material de acabamento posicionado no fundo do molde, isolado por uma barreira de aderência, para posterior colocação da armadura e concreto. Este tipo de fabricação permite acabamentos lisos, texturizados, frisados e revestidos (Figura 3.2b);
- **tilting moulds:** técnica adotada em painéis moldados no canteiro de obras, onde fabrica-se painéis na posição horizontal que depois são içados por meios de guias para compor o fechamento do edifício. Esse método de fabricação tem sua aplicação limitada a edifícios baixos e de média altura, mas possibilita diversos acabamentos (Figura 3.2c).



**Figura 3.2:** Três alternativas de tipos de moldes: (a) *face up* (face acabada para cima); (b) *face down* (face acabada para baixo); e (c) *tilting moulds* (moldes inclinados) (BROOKES, 1998).

O tipo de molde é escolhido de acordo com acabamento e forma do painel especificados em projeto. Devido ao crescimento da utilização de revestimentos incorporados (pedra

ornamental, cerâmica), a tendência é a maior utilização da técnica de moldagem face acabada para baixo.

Uma maneira de reduzir custos de produção de painéis de concreto é a padronização da forma, aumentando a velocidade de produção, diminuindo custos operacionais, tempo para detalhamentos, confecção de moldes, riscos de erros de detalhamento e de produção.

Alguns tipos de moldes ainda podem ser ajustados para tamanhos variados de painéis como indicado na Figura 3.3.

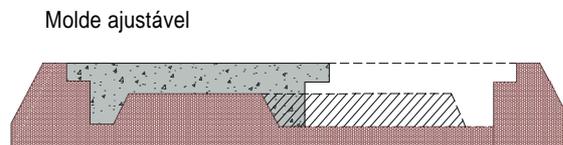


Figura 3.3: Ajuste de moldes para tamanhos variados de painéis (BROOKES, 1998).

### 3.3.1 Acabamentos nos painéis de concreto

Uma vantagem da produção industrializada é a possibilidade de uma ampla variedade de acabamentos nos painéis de concreto arquitetônico, que podem ser fabricados em diversas cores, formas e texturas. Essa flexibilidade na produção permite aos arquitetos o desenvolvimento de projetos com expressões arquitetônicas variadas.

O acabamento feito através de ataque ácido, borracha própria para absorver a pasta de concreto ou jateamento de areia, permite a remoção de irregularidades e expõem levemente o agregado (Figura 3.4a). A superfície pode também receber polimento. Há ainda a possibilidade de incorporação de revestimentos como: pedras ornamentais, textura (agregado exposto), cores (concreto pigmentado) (Figura 3.4b e Figura 3.4c), nervuras ou falsas juntas (Figura 3.4c) e outras opções, durante a fase de fabricação, que dispensam pintura e revestimento posterior.

É necessário fazer um detalhamento dos fixadores de revestimento quando se utiliza pedras ornamentais como acabamento dos painéis. A maioria dos painéis usam acabamento de agregado exposto, sendo a cor do painel definida pela cor do agregado utilizado ou pela introdução de pigmentos (PCI, 1989; HARRIMAN, 1991; CIRIA, 1992<sub>c</sub>; DORRIS, 1993; MEDEIROS, 1996).



**Figura 3.4:** Exemplos de acabamentos em painéis de concreto: (a) agregado exposto polido, (b) e (c) agregado exposto polido e pigmentado (PCI, 1989).

### 3.4 Aspectos de projeto e de montagem que influenciam no desempenho

#### 3.4.1 Geometria e modulação

A geometria e a forma do painel são determinadas em projeto, considerando ainda fatores de produção e manuseio. É importante que na fase de projeto procure-se reduzir o número de tipos de painéis a serem utilizados, garantindo uma maior padronização na produção.

As condições de exposição e tipologia da edificação alimentam a etapa de dimensionamento dos painéis e devem ser consideradas as solicitações mecânicas, envolvendo a ação do vento, do peso próprio e esforços durante a desforma e manuseio em atendimento do requisito de segurança estrutural.

Além disso, devem ser analisadas maneiras de realizar o transporte e içamento devido ao grande peso dos painéis, visto que o concreto é um material relativamente pesado, com aproximadamente  $2,4 \text{ t/m}^3$ . O controle e qualidade tanto na etapa de projeto quanto na execução da montagem dos painéis faz-se necessário para a garantia da segurança estrutural e durabilidade do subsistema de vedação (PCI, 1989; CIRIA, 1992<sub>c</sub>).

As dimensões dos painéis e seu peso<sup>24</sup> são limitados pelo transporte e manuseio. Normalmente, é mais fácil padronizar a largura do que a altura, pois há diferentes níveis de pé-direito e parapeitos.

---

<sup>24</sup> Não deve exceder 7 toneladas, para facilitar o manuseio na fabricação e montagem (BLANC *et al.*, 1993).

Pode-se ajustar o projeto para utilizar painéis de concreto pré-fabricados e de concreto moldado *in loco*, evitando o uso de painéis não padronizados. Assim sendo, as dimensões dos painéis variam em função de três fatores: facilidade de fabricação, método de transporte e manuseio (CIRIA, 1992<sub>c</sub>; BLANC *et al.*, 1993; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998).

A altura típica dos painéis gira entre 1,20m a 3,0m, enquanto que o comprimento pode ser até 3 vezes maior<sup>25</sup>. A espessura do painel varia de acordo com seu comprimento (Quadro 3.2), com a zona de armadura e o seu cobrimento necessário, sendo o cobrimento mínimo de 40 mm (Quadro 3.3). A definição da espessura do cobrimento depende:

- da função estrutural do painel;
- da dimensão máxima característica do agregado;
- dos meios utilizados para manter a armação na devida posição durante a concretagem;
- das características e qualidade do concreto;
- do tipo de acabamento final;
- das agressividades do ambiente;
- da resistência ao fogo requerida;
- dos requisitos de desempenho em termos de especificação do concreto.

**Quadro 3.2: Espessuras típicas dos painéis pré- moldados de concreto segundo seu comprimento (a partir de DAWSON, 1995; BROOKES, 1998).**

Comprimento do painel (m)	Espessura (mm)
2.0	75 (para painéis reforçados com aço inoxidável)
3.0	90
4.0	100
5.5	125
6.0	140-160

---

<sup>25</sup> Sempre inferior a 12m, por questões de transporte (BROOKES, 1998).

**Quadro 3.3: Variação do cobrimento externo de acordo com a resistência do concreto<sup>26</sup> para o atendimento de segurança estrutural e durabilidade do painel (a partir de BROOKES, 1998, FREEDMAN, 1999).**

	(BROOKES, 1998)		(FREEDMAN, 1999)
<b>Resistência mínima do concreto</b>	25 MPa	30 MPa	35 MPa
<b>Cobrimento externo (mm)</b>	50	40	40

Os painéis podem apresentar seção homogênea, resultando em painéis maciços, ou configuração sanduíche, resultante da incorporação de uma camada de material isolante entre duas placas de concreto armado para um melhor desempenho termo-acústico, conferindo ao painel uma capacidade de isolamento e/ou absorção das ondas de calor e som conforme especificação em projeto (PCI, 1989; BROOKES, 1998).

A maioria dos painéis emprega reforços como enrijecedores horizontais e verticais que transferem a carga para a estrutura principal da edificação. As profundidades desses elementos de reforço ( $a$  e  $d$  da Figura 3.5) depende (BROOKES, 1998):

- do cobrimento da armadura;
- das dimensões das junções entre painel e coluna;
- de acomodações dos encaixes para alinhamento e fixação;
- da distância entre enrijecedores, de tal sorte que à medida que essa distância aumenta a espessura também precisa ser aumentada.

A largura e espessura ( $b$  e  $e$  da Figura 3.5) dos enrijecedores dos painéis são normalmente de 100-125 mm, mas quando há junção de painéis em frente a algum pilar, a largura deve ser aumentada para permitir a fixação dos painéis na estrutura do edifício (BROOKES, 1998).

---

<sup>26</sup> A resistência mínima do painel de concreto de fabricantes nacionais é de 35 MPa a 45 MPa.

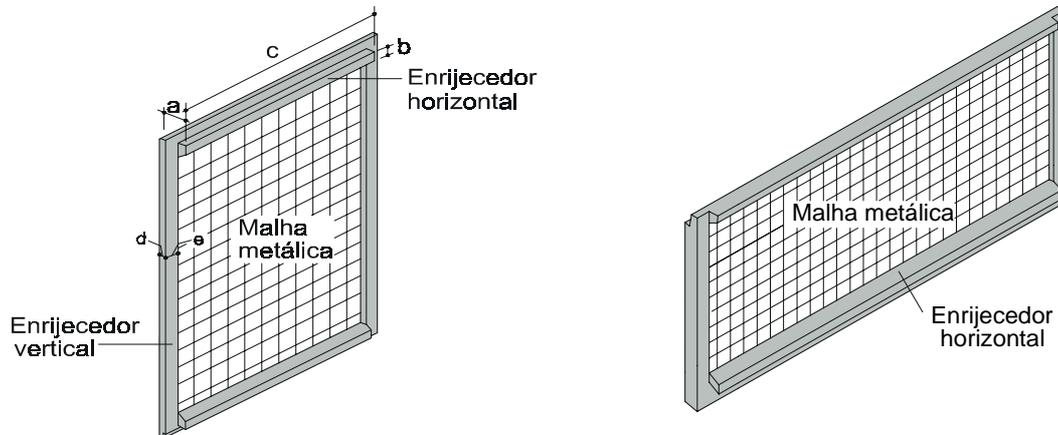


Figura 3.5: Esquemas de enrijecedores verticais e horizontais (a partir de BROOKES, 1998).

### 3.4.2 Influência das juntas no desempenho dos painéis

Os elementos e componentes constituintes da construção estão sujeitos a variações de temperatura, sejam sazonais ou diárias, que repercutem numa variação dimensional dos materiais (dilatação ou contração); e, também, a mudanças higroscópicas que provocam variações dimensionais (dilatação ou contração) dos materiais devido ao aumento ou diminuição do teor de umidade do material. Essas movimentações, sejam térmicas ou higroscópicas, causam tensões que provocam o aparecimento de fissuras que comprometem o desempenho da edificação (TOMAZ, 1989; HUTCHINSON *et al.*, 1995; HARRISON & VEKEY, 1998).

As juntas nas edificações têm por finalidade permitir que essas expansões e contrações ocorram nas vedações e nos seus elementos constituintes sem afetar a integridade e a estabilidade da edificação.

Assim sendo, as juntas são de extrema importância para o desempenho global da edificação, principalmente, quando as vedações verticais são executadas pela montagem de elementos pré-fabricados. Para o adequado desempenho dos painéis é imprescindível a total vedação das juntas impedindo a penetração da água da chuva, sendo necessário que os projetistas também considerem alguns outros pontos (MARSH, 1977; TOMAZ, 1989; DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995):

- funcionamento da junta em termos de tensões, espessura e tipo do selante;
- custo inicial da opção do tipo de junta e do selante;

- materiais utilizados na vedação vertical;
- solicitações físicas, químicas e mecânicas da vedação vertical;
- facilidade de aplicação;
- vida útil do subsistema e seus componentes;
- custo de manutenção e reposição das juntas.

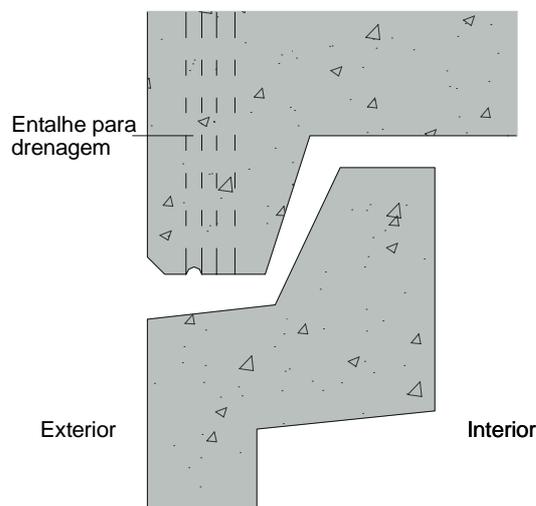
Todos esses aspectos em conjunto, se considerados pelos projetistas, podem resultar num subsistema eficiente, em atendimento a requisitos e critérios de desempenho, em diminuição de patologias, sem interferir no visual externo da edificação, pelo fato das juntas já terem sido previstas, analisadas e dimensionadas em projeto (MARSH, 1977; DAWSON, 1995).

As juntas constituem a linha de separação entre os painéis de concreto, justapostos ou sobrepostos, podendo ser horizontais ou verticais e devendo ser seladas. As juntas horizontais têm uma função similar a das pingadeiras e estão sujeitas a esforços de compressão originários do peso próprio da sobreposição dos painéis (Figura 3.6). Já as juntas verticais estão mais sujeitas às intempéries, exigindo cuidados quanto à vedação e condução da água da chuva (KRUGER, 2000). As juntas empregadas em painéis de concreto subdividem-se em dois tipos: **junta aberta de drenagem** e **junta de vedação** (PCI, 1989; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998; HARRISON & VEKEY, 1998).

Visando prevenir penetração de água e ar na edificação é usada a **junta aberta de drenagem**, que adota o mesmo princípio de fachadas *rainscreen*<sup>27</sup>, que utiliza a geometria das juntas para recolher água das chuvas e para conseguir uma barreira em volta da junta. Esse princípio é conseguido através de duas barreiras de vedação que evita o acúmulo da água da chuva e da umidade nos painéis de concreto.

---

<sup>27</sup> As vedações tipo *rainscreen* (proteção de chuva) são projetadas com a finalidade de resistir à ação das intempéries e de agentes agressivos (MARSH, 1977). Este princípio também tem sido utilizado em sistemas de fachadas ventiladas que consiste em um sistema de revestimento externo composto por uma camada isolante sobre a vedação e uma camada externa de revestimento. O espaço vazio entre as camadas possibilita uma ventilação contínua no sentido vertical permitindo a troca de calor e umidade entre a fachada e o meio externo, melhorando o seu desempenho térmico e evitando problemas decorrentes de acúmulo de umidade (KISS, 1999<sub>a</sub>).



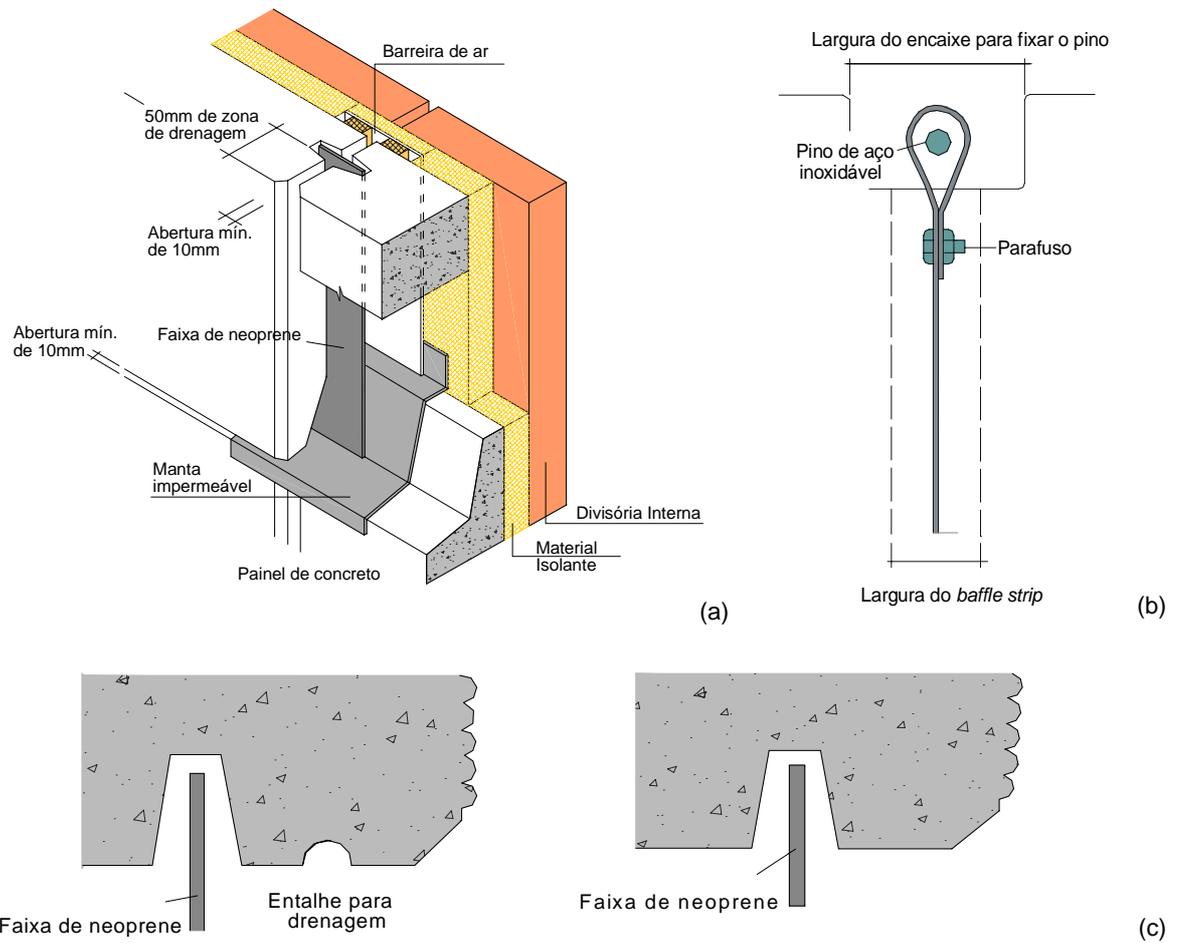
**Figura 3.6: Detalhe em corte da junta horizontal (BROOKES, 1998).**

A junta aberta de drenagem é obtida através de sobreposição de bordos horizontais somada a existência de sulcos verticais onde são posicionadas faixas de neoprene (Figura 3.7). As faixas de neoprene funcionam como uma primeira barreira estanque à água que mantém permanentemente protegida uma segunda barreira de estanqueidade ao ar (constituída por acessórios de borracha ou espumas compressíveis). Orifícios de drenagem promovem a eliminação da água que eventualmente penetre. No cruzamento de juntas horizontais e verticais, uma membrana impermeável (borracha butílica ou manta betuminada) auxilia na garantia de estanqueidade (MARSH, 1977; PCI, 1989; BROOKES, 1998).

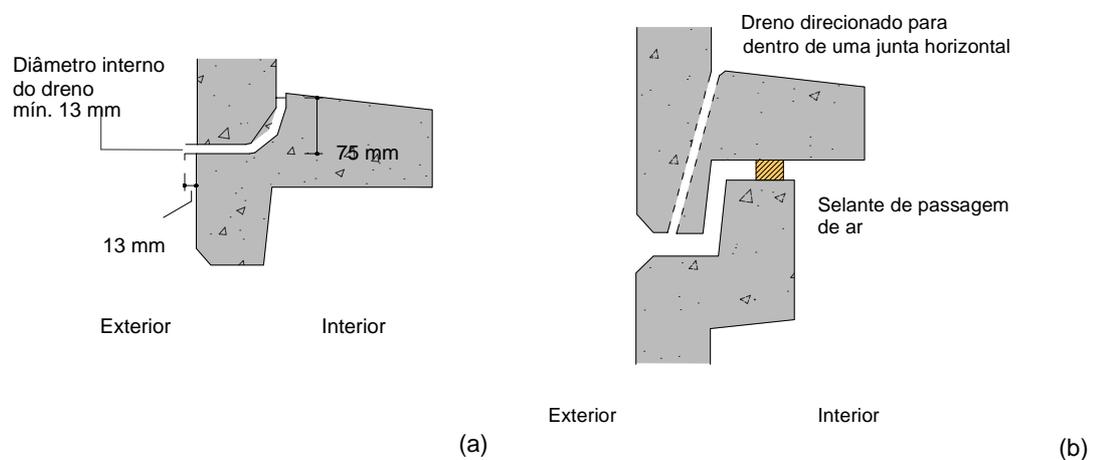
Os painéis devem ser projetados para facilitar remoção de umidade, que aparece na sua face interna como resultado de condensação e/ou penetração da chuva, através de tubos de drenagem colocados no molde antes da concretagem.

Esses drenos não devem ter menos de 13 mm de diâmetro interno para prevenir obstruções, sendo também recomendável projetá-lo, no mínimo, 13 mm à frente do painel para evitar o aparecimento de manchas na sua superfície (Figura 3.8a).

Para prevenir tais manchas, é possível dispor o dreno dentro do painel, direcionando-o para uma junta horizontal (Figura 3.8b) (BROOKES, 1998).



**Figura 3.7: Principais elementos da junta aberta de drenagem: (a) corte do painel; (b) detalhe de fixação das faixas de neoprene utilizando pinos de aço inoxidável; (c) detalhe em planta do entalhe para colocação da faixa de neoprene com ou sem drenagem (BROOKES, 1998).**



**Figura 3.8: Detalhe em corte de alternativas de posições dos tubos de drenagem (BROOKES, 1998).**

As **juntas de vedação** podem ser obtidas por juntas de selantes ou gaxetas. Essa junta é obtida por apenas uma barreira de vedação. Geralmente, possuem um selante na superfície externa do painel e têm como principais vantagens o fato de serem adaptáveis às junções entre painéis e possuem custo inicial baixo. Entretanto, a reavaliação do uso desse tipo de junta deve ser considerada quando são incluídos custos de manutenção. O seu desempenho depende da qualidade do material, de instalação e de vistorias para assegurar a estanqueidade à água (PCI, 1989; DAWSON, 1995).

Os selantes das juntas devem ser especificados de modo a obter uma completa estanqueidade. Os principais tipos de selantes para uso em vedação de painéis de concreto são o polisulfeto acrílico (mono ou bi-componentes) e o silicone de baixo módulo de elasticidade (Quadro 3.4) (CIRIA, 1992<sub>c</sub>; DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995; BROOKES, 1998).

**Quadro 3.4: Características dos tipos de selantes (DAWSON, 1995).**

Selante	Comportamento	Capacidade de deformação	Vida útil	Obs.
Silicone de baixo módulo	elástico	50%	25 anos	necessidade de limpeza na superfície cura varia de 2 a 3 semanas
Polisulfeto mono-componente	elastoplástico	20%	20 anos	necessidade de limpeza na superfície cura lenta (mais de 3 semanas)
Polisulfeto bi-componente	elastoplástico	30%	20 anos	necessidade de limpeza na superfície cura rápida (1 a 2 dias) utilizado para juntas largas

Os polisulfetos acrílicos na forma de bi-componentes são mais usados porque têm boa capacidade de deformação (até 30% da largura da junta) e podem oferecer grande capacidade de penetração na junta, além de possuir rapidez de cura. Entretanto, quando são utilizadas várias misturas de selantes sua cor pode variar, o que não acontece quando se utiliza o polisulfeto acrílico mono-componente. Esse tipo de selante pode ser utilizado em juntas de até 25 mm em uma única aplicação.

O selante de silicone de baixo módulo, provavelmente, é o mais durável entre todos os selantes. O silicone de baixo módulo é elástico e fortemente aderente, exercendo uma considerável pressão na superfície aplicada. A maior largura de junta para este tipo de selante é de aproximadamente 25 mm, e o tipo baixo módulo acomoda movimentos em média de 50% da largura da junta (DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995).

Uma espuma de polietileno de seção retangular ou circular deve ser usada para corrigir a profundidade do selante e para evitar a incompatibilidade de materiais que podem causar a separação, comprometendo o desempenho previsto (Figura 3.9) (BROOKES, 1998).

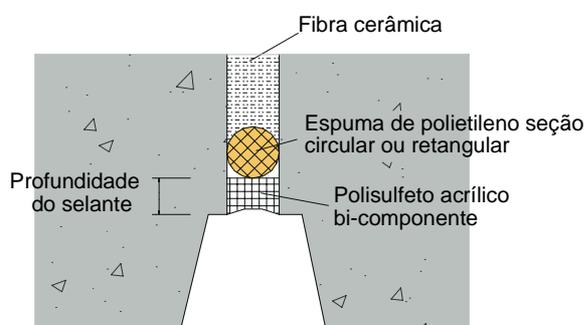


Figura 3.9: Espuma de polietileno usada para corrigir a profundidade do selante (BROOKES, 1998).

O dimensionamento final da junta é conduzido a partir de movimentos de deformações nominais dos painéis (alteração dimensional prevista) e da capacidade de deformação das juntas (MAF) (Quadro 3.4) (HUTCHINSON *et al.*, 1995).

A **largura** ( $W$ ) é obtida através da Equação 3.1:

$$W = \left( \frac{\text{movimento} \times 100}{MAF} \right) + \text{movimento} \quad \text{Equação 3.1}$$

*movimento* = alteração dimensional prevista

*MAF* = capacidade de deformação das juntas

A **profundidade** ( $D$ ) é determinada através da Equação 3.2 e Equação 3.3:

- para selantes elásticos (Quadro 3.4):

$$D \leq \frac{W}{2} \quad \text{Equação 3.2}$$

- para selantes elastoplásticos (Quadro 3.4):

$$D = \frac{W}{2} \quad \text{Equação 3.3}$$

A norma ASTM C1193 (1991) determina, para painéis de concreto, os valores mínimos e máximos da largura e da profundidade da junta, conforme apresentados no Quadro 3.5.

**Quadro 3.5: Dimensões mínimas e máximas da largura e da profundidade da junta para painéis de concreto (a partir da ASTM C1193, 1991).**

Dimensões da junta de vedação	
Para larguras até 12,7 mm	A profundidade pode ser igual a largura
Para larguras entre 12,7 mm e 25 mm	A profundidade do selante deve ser a metade
Para larguras de 25 mm a 50 mm	A profundidade não deve ultrapassar a 12,7 mm.

Os selantes das juntas garantem a estanqueidade das fachadas, sendo que esta característica depende do tipo de polímero, da composição e estrutura do selante, e das condições de exposição.

Esses polímeros são suscetíveis a fatores de degradação resultantes da combinação de efeitos atmosféricos, radiação solar, calor, oxigênio, água e microorganismos, que contribuem para a diminuição da vida útil e desempenho das juntas. Portanto, os selantes das juntas precisam ser repostos com o tempo, sendo que a frequência de substituição depende do ambiente e dos agentes agressivos atuantes (Quadro 3.4) (PCI, 1989; DAWSON, 1995; CHEW & YI, 1997).

As juntas nunca devem ser localizadas no encontro das aberturas das esquadrias (Figura 3.10). Preferivelmente, o posicionamento das juntas deve ser nas aristas laterais do painel, minimizando as tolerâncias para adequação dimensional e as dificuldades de selagem das juntas.

Embora os fabricantes de vedações continuem a usar juntas de selantes, possivelmente, por ser mais fácil de detalhar, as juntas de gaxetas podem oferecer um produto de junta mais estável, particularmente, quando usados em conjunto com a barreira de ar (SILVA, 1999).

A mais popular junta de gaxeta<sup>28</sup> é um sistema parecido ao que é utilizado em esquadrias ou em painéis metálicos, com detalhamento próprio, especificação correta e controle para instalação local. As juntas de gaxetas, independentemente do tipo ou forma, requerem uma constante compressão para haver um contínuo contato com a extremidade do painel e são protegidas da ação direta das intempéries por um material de recobrimento (MARSH, 1977; BROOKES, 1998).

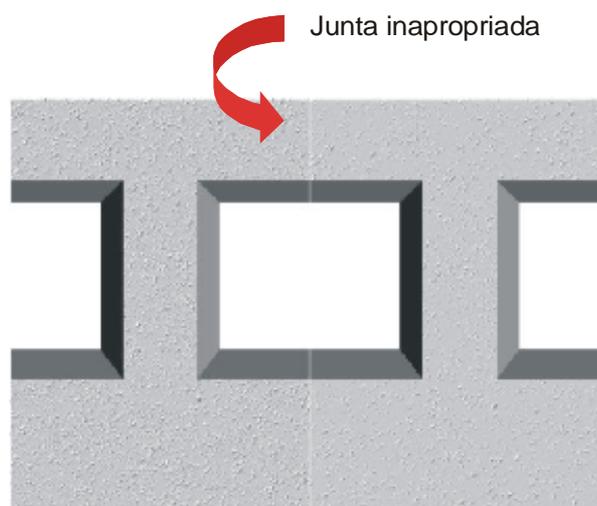


Figura 3.10: Evitar juntas nesta localização em painéis de concreto (PCI, 1989).

### 3.4.3 Influência da montagem e fixação no desempenho dos painéis

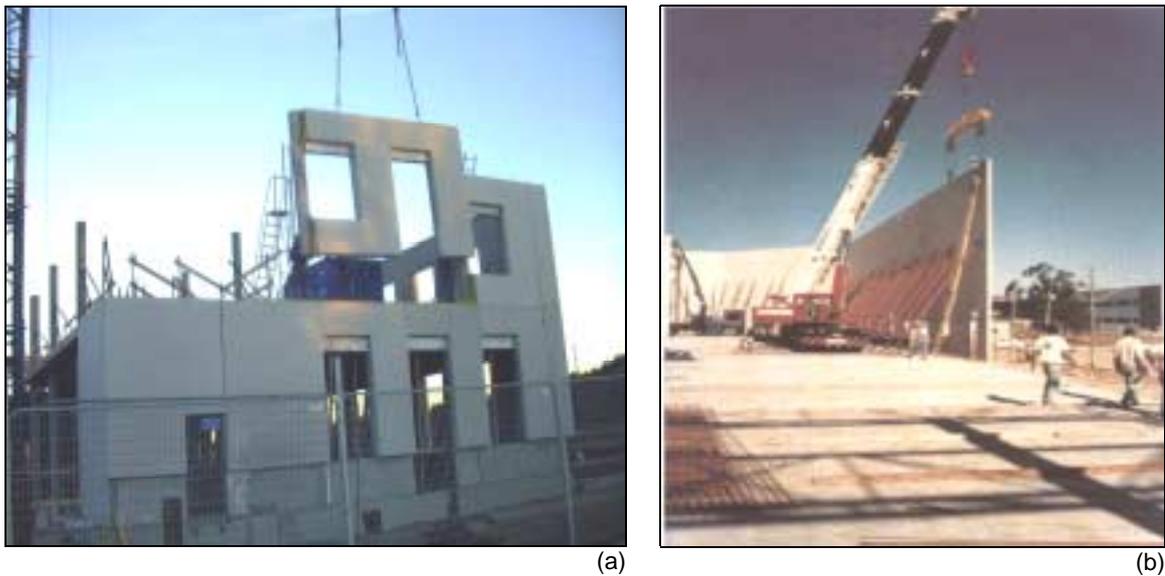
As vedações em painéis de concreto caracterizam-se por acoplamento mecânico, através de solda, por imersão, por parafuso ou encaixe. Os painéis são içados através de guas pelos *inserts* colocados ainda na fase de fabricação, com precisão (Figura 3.11a), pois sua eficácia diminui sensivelmente se não estiverem perpendiculares e alinhados à superfície do painel, comprometendo a estabilidade estrutural do subsistema vedação.

Além disso, de acordo com as dimensões do painel, há necessidade de equipamentos como guas provisórias de escoramento metálico, fixadas por meio de esperas previamente

---

<sup>28</sup> As gaxetas são juntas compressivas cuja eficiência depende da completa vedação resultante da sua compressão no momento de instalação. O neoprene é largamente utilizado como gaxeta, pois possui uma excelente estanqueidade ao vapor de água, à água, ao ar e gases (MARSH, 1997).

incorporadas ao painel durante a concretagem, que sustentam os painéis até que se proceda o seu travamento à estrutura da edificação (Figura 3.11b) (PCI, 1989; MEDEIROS, 1996; LORDSLEEM, 1998).



**Figura 3.11: Montagem de painéis de concreto(a) içamento de um painel de concreto, foto tirada de um edifício em construção, Estocolmo; (b) montagem de painéis de concreto utilizando escoras provisórias (MEDEIROS, 1996).**

Em edifícios com estruturas metálicas, os painéis pré-fabricados são, preferencialmente, fixados também na laje de concreto. Quando fixados apenas na estrutura metálica, corre-se o risco das solicitações impostas às vedações serem significativas, que são decorrentes das deformações da estrutura metálica, podendo comprometer o desempenho global do subsistema.

Os painéis de concreto são, freqüentemente, erguidos na horizontal e requerem para isso um esforço adicional, como a utilização de guindastes ou guas. Quando erguidos verticalmente, devem ser suspensos acima do ponto do centro de gravidade das peças. Nesse caso, são usadas plataformas inclinadas no manuseio, objetivando a redução de esforços na manipulação dos painéis com resistências mecânicas ainda reduzidas (REAGO, 1997; BROOKES, 1998).

Embora a variação dimensional do painel, na fabricação, não exceda a 3 mm, as imprecisões impostas na linha de montagem, causadas por desvios na armação e na execução, podem ultrapassar 25 mm. Essa tolerância deve ser considerada no método de fixação em

atendimento ao requisito de segurança estrutural. O projeto de fixação deve conter também soluções para permitir movimento do painel devido a variações higrótérmicas e deformações estruturais. Com o objetivo de evitar que a movimentação térmica da fachada seja restringida pela estrutura, trabalha-se com apenas duas linhas horizontais de fixação (CIRIA, 1992<sub>c</sub>; SCI, 1992; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998):

- quatro pontos no painel com ajuste de tolerância, para impedir a sua movimentação lateral sob ação de cargas, que são localizados próximos à extremidade do painel e que estão situados na parte superior e inferior do painel e;
- dois pontos postos em esperas pré-niveladas na laje ou viga para suportar o peso próprio do painel e cargas de vento, que podem estar situados na base ou no topo do painel.

Assim sendo, os painéis podem ser fixados através de dois tipos de conectores, **pinos** ou **cantoneiras**, com cuidados especiais para evitar restrição de movimentações da estrutura ou dos painéis (Figura 3.12).

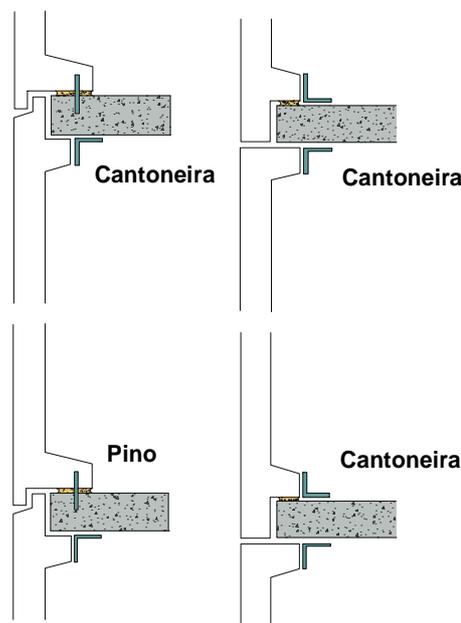


Figura 3.12: Fixação de painéis de concreto (BROOKES, 1998).

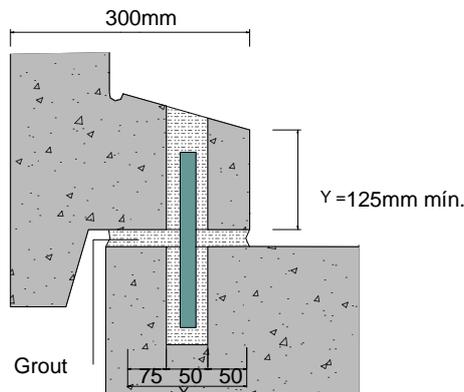
Os painéis ainda são projetados com bases horizontais de apoio que transmitem a carga do peso próprio para a estrutura, sendo que a união entre essas bases e a estrutura (laje de concreto) é feita com argamassa ou *grout*. Na maioria das vezes são utilizadas cantoneiras no

topo e cantoneiras ou pinos na parte inferior, devido a maior rapidez na execução (PCI, 1989; SCI, 1992; BROOKES, 1998).

As dimensões mínimas das bases horizontais de apoio variam conforme os tipos de conectores (Quadro 3.6). O cobrimento adicional pode ser requerido se o painel for provido de um sistema interno de drenagem na extremidade da junta (BROOKES, 1998).

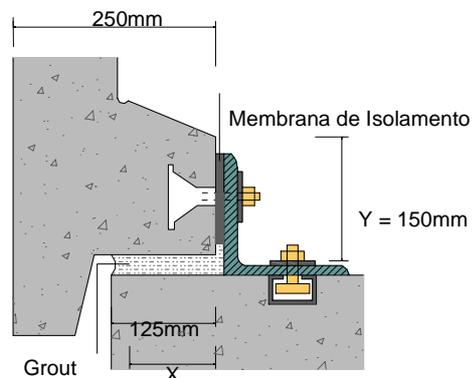
**Quadro 3.6: Dimensões mínimas das bases horizontais de apoio (a partir de BROOKES, 1998).**

Dimensões mínimas das bases horizontais de apoio	conectores	
	Cantoneiras	Pinos
Profundidade $x$ (Figura 3.13) para fixação na laje, incluindo tolerância de 25 mm	125 mm	175 mm
Altura $y$ (Figura 3.13) dos enrijecedores	150 mm	125 mm



Min. de 150mm mais 25mm devido às imperfeições da extremidade da laje

(a)



Min. de 100mm mais 25mm devido às imperfeições da extremidade da laje

(b)

**Figura 3.13: Detalhe da geometria da base horizontal de apoio em função do elemento de fixação utilizado: (a) pinos; (b) cantoneiras (BROOKES, 1998).**

Nesse sentido, os painéis podem ser fixados por três sistemas (SCI, 1992; DAWSON, 1995):

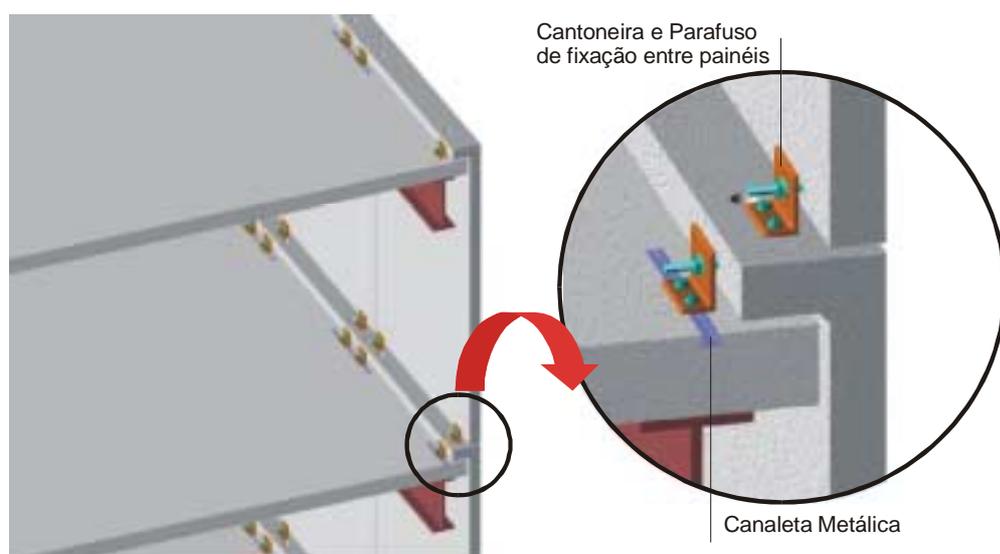
- **fixação no topo do painel:** a base horizontal de apoio, localizada no topo do painel, é formada a partir da aresta superior do painel, que possui a função de suportar o carregamento do seu peso próprio e de cargas do vento. A base horizontal de apoio é

conectada à laje de concreto por dois *inserts* de fixação situados nas extremidades do painel.

Entretanto, apenas uma das extremidades do topo, onde se localiza um dos *insert*, é fixada com *grout*, prevenindo qualquer movimentação entre a laje e a extremidade do painel. A movimentação térmica no painel gera movimentações no plano horizontal e no plano vertical, sendo que o ponto situado na outra extremidade do topo permite as movimentações no sentido horizontal e os pontos de fixação na base do painel permitem as movimentação verticais, sendo que um deles permite as movimentações tanto no plano horizontal quanto no plano vertical. A fixação entre painéis é feita através de cantoneiras e parafusos que fixam a base horizontal de apoio do painel ao painel superior.

A canaleta metálica, situada na laje de concreto, permite a movimentação horizontal do painel para o seu posicionamento correto na fachada. Então, o ajuste é obtido pela cantoneira metálica que é retirada após o endurecimento do *grout*. Esse tipo de fixação, apesar de simples, requer que a instalação seja feita em dois pavimentos, exigindo duas equipes de montagem.

As juntas verticais são adjacentes aos painéis e as juntas horizontais são formadas naturalmente pela sobreposição do painel superior. A Figura 3.14 mostra o detalhe de fixação e a Figura 3.15 ilustra uma seqüência de fixação desse tipo de sistema.



**Figura 3.14:** Detalhe do sistema de fixação no topo do painel de concreto (a partir de SCI, 1992).

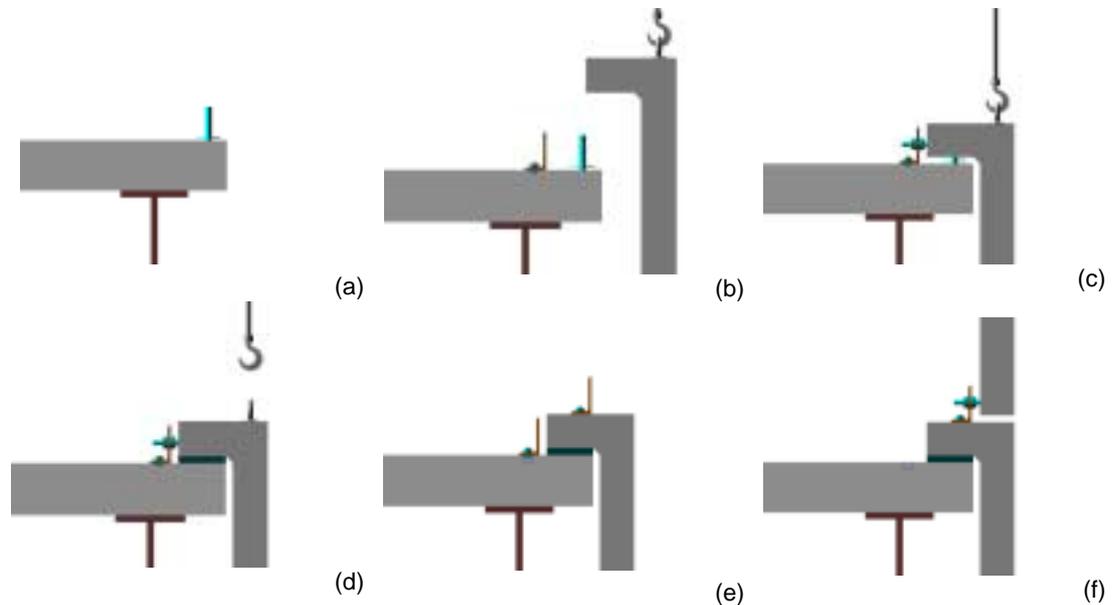


Figura 3.15: Sequência de montagem do sistema de fixação no topo do painel: (a) laje preparada para receber o painel; (b) cantoneira fixada à canaleta metálica para ajuste correto da posição do painel e painel sendo encaixado no *insert*; (c) parafuso horizontal fixando o painel à cantoneira e pequenos ajustes feitos para o alinhamento do painel; (d) guindaste removido após colocação de *grout* que fixa o painel na laje de concreto; (e) base horizontal de apoio do painel preparada para receber o painel superior; (f) parafusos fixando o painel ao painel superior e retirada da cantoneira fixada à canaleta metálica após o endurecimento do *grout* (SCI, 1992).

- fixação na base do painel:** a base horizontal de apoio é localizada na base do painel que possui a função de suportar o carregamento do seu peso próprio e de cargas do vento. Assim, os painéis atuam comprimidos e sua fixação na laje de concreto é feita por cantoneiras e dois *inserts* de fixação na base dos mesmos situados nas extremidades do painel (Figura 3.16), sendo apenas uma das extremidades fixada com *grout*, prevenindo qualquer movimentação entre a laje e a extremidade do painel e a sua fixação na estrutura metálica é dada pela parte superior do painel através de cantoneiras e parafusos situados em dois pontos de suas nas extremidades, que permitem movimentações no plano vertical e horizontal decorrentes de deformações térmicas (Figura 3.16 e Figura 3.17d).

A canaleta metálica, situada na laje de concreto, permite a movimentação horizontal do painel para o seu posicionamento correto na fachada. Analogamente ao sistema anterior de fixação, a cantoneira de ajuste do painel é retirada após o endurecimento do *grout*. Utiliza-se apenas um pavimento para a instalação do painel. A Figura 3.17 ilustra uma seqüência de fixação desse tipo de sistema.

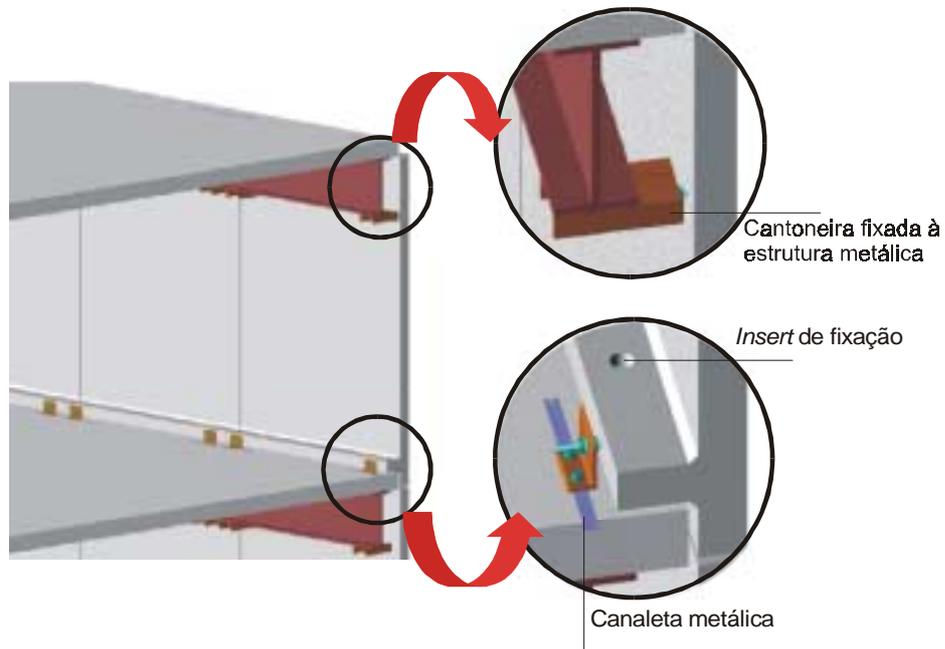


Figura 3.16: Detalhe do sistema de fixação na base do painel de concreto (SCI, 1992).

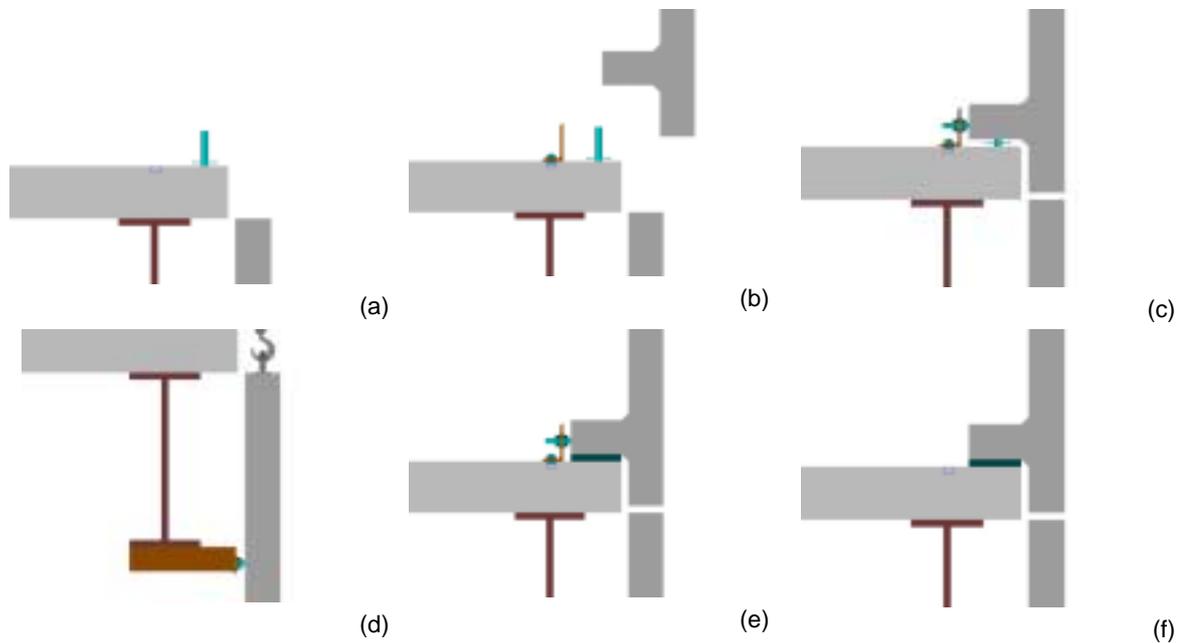


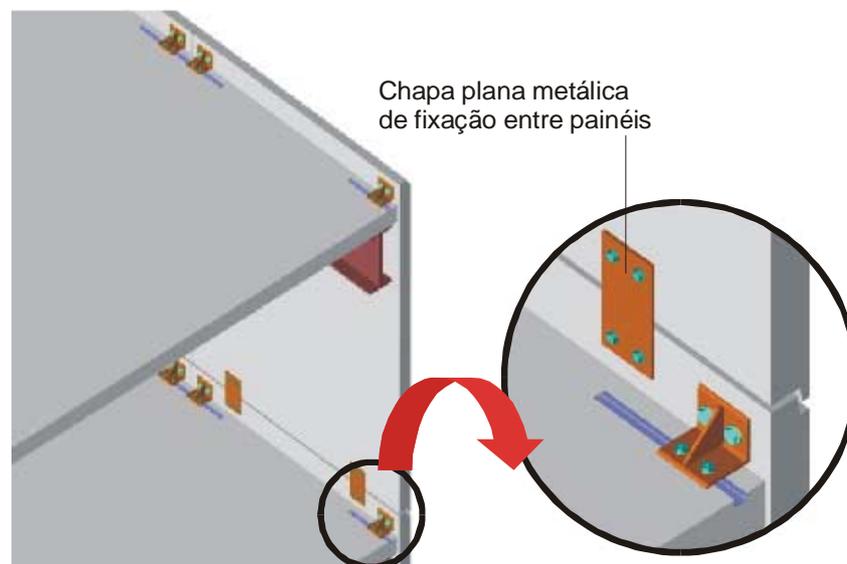
Figura 3.17: Seqüência de montagem do sistema de fixação na base do painel: : (a) laje preparada para receber o painel; (b) cantoneira fixada à canaleta metálica para ajuste correto da posição do painel e painel sendo encaixado no *insert*; (c) parafuso horizontal fixando o painel à cantoneira; (d) parafuso fixando a parte superior do painel à estrutura metálica; (e) guindaste removido após colocação de *grout* que fixa a base do painel à laje de concreto; (f) cantoneira e parafuso fixados à canaleta metálica removidos após o endurecimento do *grout* (SCI, 1992).

- **fixação de painéis sem a base horizontal de apoio:** é uma derivação do primeiro tipo de fixação, com o diferencial de utilizar uma cantoneira de fixação em substituição a base horizontal de apoio (Figura 3.18).

A cantoneira de fixação é colocada em dois pontos no topo do painel que possui a função de suportar o peso próprio do painel. A cantoneira também possui a função de ajuste correto da posição do painel, devido a existência da canaleta metálica.

A fixação entre painéis é feita por uma chapa plana metálica aparafusada, que possui apenas a função de resistir às cargas de vento que poderiam causar rotação do painel ao redor de sua conexão.

A restrição as movimentações decorrentes de deformações térmicas do painel é análoga à fixação no topo do painel. Uma das cantoneiras de fixação situada no topo do painel previne qualquer movimentação entre a laje e a extremidade do painel, enquanto que a oposta permite a movimentação no sentido horizontal. As chapas metálicas que fixam os painéis aos painéis superiores permitem a movimentação no sentido horizontal, sendo que apenas uma chapa permite a movimentação no plano horizontal e vertical.



**Figura 3.18:** Detalhe de fixação de painéis sem a base horizontal de apoio (a partir de SCI, 1992).

Os parafusos ou pinos da fixação devem ser em aço inoxidável pela necessidade de resistência à corrosão. Entretanto, cuidados adicionais são necessários para isolar o contato entre metais

não similares (fixações em aço inoxidável e o aço da estrutura), para evitar a formação de par galvânico e, conseqüentemente, iniciar o mecanismo de corrosão. O isolamento deve ser feito através de membranas (fitas e/ou arruelas) de material polimérico (Figura 3.19) (BLANC *et al.*, 1992; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998).

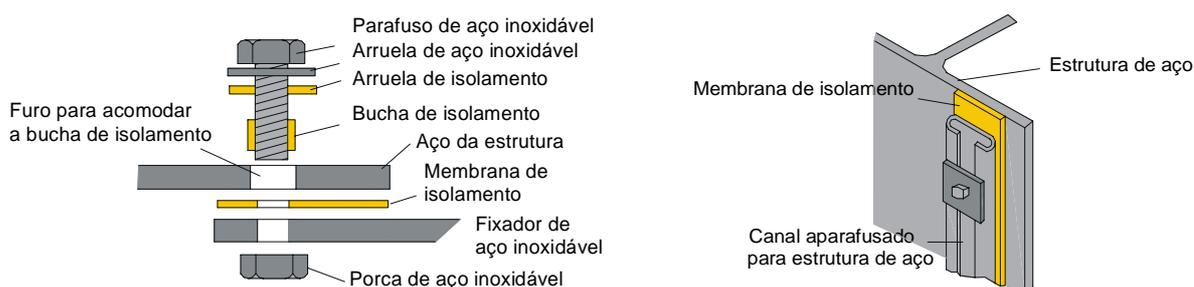


Figura 3.19: Isolamento físico entre metais não similares (DAWSON, 1995).

### 3.5 Desempenho dos painéis de concreto

Nesta dissertação adota-se, como método de avaliação, a análise de dados obtidos mediante bibliografia especializada, entidades de ensino e pesquisa que tenham realizado ensaios de desempenho ou, ainda, através de dados fornecidos pelos fabricantes.

Os critérios de desempenho no *Quadro 2.10* fornecem subsídios para a adequação do desempenho em painéis de concreto. A metodologia de avaliação de desempenho é similar à apresentada no *Capítulo 2* no qual são apresentados os requisitos de **segurança, habitabilidade e durabilidade**.

Em se tratando de fachadas em painéis pré-fabricados, o atendimento adequado aos três grupos básicos de requisitos de desempenho depende, principalmente, da eficiência das juntas entre os painéis horizontais e dos sistemas de fixação dos painéis à estrutura da edificação, além de aspectos de projeto, controle de qualidade na produção e técnicas de montagem dos painéis.

#### 3.5.1 Segurança

As exigências de **segurança estrutural**, inicialmente, orientam a dosagem do concreto para o atendimento das propriedades mecânicas requeridas, sendo o primeiro requisito de

desempenho especificado em projeto. Além disso, é imprescindível a especificação da espessura do cobrimento e do painel, para a garantia da segurança estrutural do painel. Atendida a resistência do painel, cabe então o dimensionamento correto do sistema de fixação (base horizontal de apoio e conectores) que possui a função de suportar o carregamento causado por cargas de vento e peso próprio do painel como foi apresentado no *Quadro 3.6* e na *Figura 3.14*, atendendo, então, aos critérios de segurança estrutural sugeridos no *Quadro 2.4*.

Com relação à **segurança contra fogo**, o desempenho de um material é verificado pelo atendimento de duas propriedades: *reação ao fogo* que é uma característica do material e *resistência ao fogo* que é baseada na estabilidade<sup>29</sup>, estanqueidade e isolamento térmico do material. O concreto é um material com excelente desempenho em relação à ação do fogo, por ser constituído por materiais incombustíveis e atende satisfatoriamente aos critérios mínimos de resistência ao fogo expostos no *Quadro 2.10* (CIRIA, 1992<sub>c</sub>; BROOKES, 1998). Os níveis de desempenho desejados são especificados pelo projetista, com base na localidade e tipo de edificação. Há ainda a possibilidade de aumentar o período de resistência ao fogo através do aumento da espessura dos painéis de concreto (*Quadro 3.7*).

**Quadro 3.7: Dimensões mínimas de painéis de concreto para período de resistência ao fogo (CIRIA, 1992<sub>c</sub>).**

Dimensões mínimas (mm)	Período de resistência ao fogo				
	4 h	3 h	2 h	1.5 h	1 h
Espessura	240	200	160	140	120
Cobrimento	25	25	25	25	25

### 3.5.2 Habitabilidade

Os requisitos de habitabilidade (estanqueidade, conforto térmico e acústico) são ajustáveis aos níveis de desempenho requeridos para a edificação, sempre definidos com base nas exigências dos usuários e exigências de contexto, que são avaliadas pelo projetista.

<sup>29</sup> O requisito estabilidade pode ser substituído por integridade para vedações sem função estrutural (BERTO, 1998).

A **estanqueidade** de painéis de concreto depende das características de permeabilidade e porosidade do material. A permeabilidade é a capacidade que o material tem de obstruir a penetração de líquidos e gases no seu interior. Essa propriedade está relacionada com a granulometria dos agregados, a relação água/cimento da pasta, o adensamento e a cura do concreto. A porosidade do concreto depende da porosidade dos agregados, grau de hidratação da pasta, alterações na zona de transição pasta/agregado, relação água/cimento, fissuração e deficiências na produção.

Uma característica necessária aos painéis pré-fabricados é possuir uma baixa absorção capilar e permeabilidade, sendo portanto, recomendada uma relação água/cimento máxima de 0.40 (FREEDMAN, 1999).

Os processos de produção<sup>30</sup> podem conferir ao concreto uma reduzida permeabilidade e adequada estanqueidade à água. Assim sendo, as juntas constituem as partes vulneráveis e preocupantes em qualquer sistema de fechamento em painéis pré-fabricados por canalizarem os fluxos da água da chuva provenientes da superfície da edificação. As juntas utilizadas em painéis de concreto são as juntas abertas, que possuem aberturas para canalizar esse fluxo e as juntas de vedação, cuja capacidade de estanqueidade está relacionada ao tipo de material utilizado, vida útil do selante e aspectos de projeto.

O **desempenho termo-acústico** de vedações<sup>31</sup> depende de sua capacidade de isolar<sup>31</sup> e/ou absorver ondas de calor e som. O concreto é um material com condutividade térmica pequena quando comparado com metais e, com densidade<sup>32</sup> suficiente para resistir à vibrações resultantes da incidência de ondas sonoras, atendendo aos critérios sugeridos no *Quadro 2.10*.

Entretanto, há a possibilidade da ocorrência de pontes termo-acústicas, que podem ser reduzidas através do emprego de material isolante e/ou a adoção de descontinuidade entre as

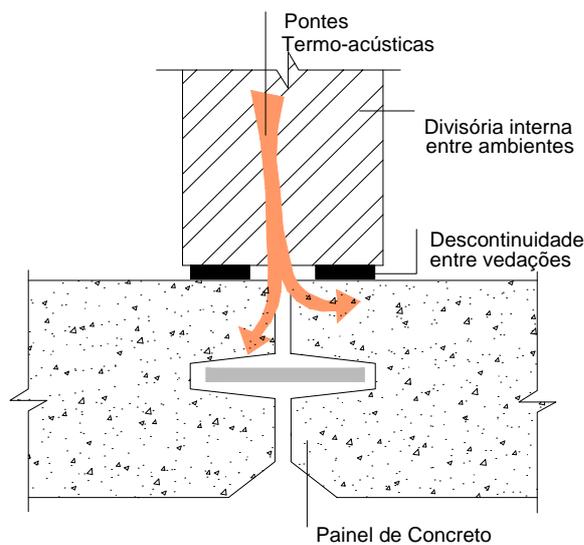
---

<sup>30</sup> A técnica de produção de pré-fabricados envolve uma série de providências desde a escolha e a dosagem dos materiais constituintes do concreto para a obtenção das propriedades desejadas até a organização do local de produção dos painéis. Esta dosagem não é empírica, devendo ser efetuada através de um método experimental, onde é necessário avaliar a qualidade dos materiais e suas propriedades, bem como as condições climáticas da região, em função das características e desempenho do painel especificado em projeto (ANDRIOLO, 1984; METHA, 1994; ABREU, KATAR, 1999).

<sup>31</sup> O isolamento está relacionado com a massa da vedação.

<sup>32</sup> Painéis de concreto com espessura de 15 cm possui 360 kg/m<sup>2</sup> que equívale à aproximadamente 48 dB de índice de redução sonora (CIRIA, 1992c).

fixações e ligações com outros subsistemas. Esse é um recurso que contribui para a redução e/ou a completa eliminação das pontes termo-acústicas, visto que as ondas que vibrarem na face incidente não encontrarão um meio físico para se propagarem e, finalmente, atingirem o ambiente interno e/ou anexo. A Figura 3.20 ilustra a criação de descontinuidade entre o painel externo de concreto e uma divisória interna (CIRIA, 1992<sub>c</sub>; HARRISON & VEKEY, 1998).



**Figura 3.20: Detalhe em planta da adoção de descontinuidade entre o painel de concreto externo e a divisória interna para a redução e/ou a completa eliminação das pontes termo-acústicas (HARRISON & VEKEY, 1998).**

### 3.5.3 Durabilidade

Para painéis de vedação de fachadas, o requisito de durabilidade está relacionado ao de aspecto, visto que os efeitos das patologias tornam-se visíveis rapidamente como manchas e eflorescência, comprometendo a integridade estética da fachada, bem como ao requisito de segurança estrutural que pode levar a ruptura do painel.

O atendimento desse requisito não depende apenas das propriedades exigidas do concreto (trabalhabilidade, resistência, baixa porosidade), mas também de aspectos de projeto, produção e execução, cuidados necessários que colaboram para uma maior vida útil dos elementos pré-fabricados (COLLEPARDI, 1999):

- seleção de materiais apropriados em termos de especificação de cimento (dependendo da região), agregados de boa qualidade e de boa granulometria, aditivo específico para cada tipo de situação;
- adequada definição da relação água/cimento, conforme a resistência e durabilidade especificadas e do cobrimento da armadura;
- execução adequada, conforme o projeto, no que diz respeito ao cobrimento da armadura, posicionamento e densidade das armaduras, formas e dimensão dos painéis;
- técnicas de execução cuidadosas e adequadas à trabalhabilidade e perda de abatimento relacionadas com a mistura, o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto e ao emprego de aditivos.

Esses fatores também estão relacionados diretamente à execução da estrutura pré-fabricada, onde fica claro a necessidade de controle de qualidade. Não se pode descartar os cuidados no transporte e montagem dos painéis como fatores que contribuem para uma maior durabilidade dos mesmos.

A deterioração do concreto também pode ser conseqüente de causas externas (ações mecânicas, físicas e químicas, ações das intempéries, abrasão, ataque de gases e líquidos) ou de causas internas (reação álcali – agregado, água de poro). Os danos causados por esses agentes estão relacionados com a qualidade do concreto e produção dos painéis pré-fabricados. Ressalta-se a importância do cobrimento das armaduras dos painéis, sobretudo, quanto a possibilidade de corrosão, principalmente, em função da agressividade do meio em que serão utilizados. Assim sendo, a malha metálica dos painéis de concreto pode sofrer corrosão favorecida pela carbonatação e penetração de cloretos. O cobrimento adequado da armadura associado à alta qualidade do concreto são fatores essenciais para a obtenção de painéis com boa durabilidade.

A qualidade do concreto é principalmente influenciada pela relação água/cimento e, para prevenir o mecanismo de corrosão para painéis de concreto arquitetônico<sup>33</sup>, recomenda-se um fck mínimo de 34,5 MPa com relação água/cimento de 0,4 (CIRIA, 1992; HARRISON & VEKEY, 1998; FREEDMAN, 1999). Além disso, outros fatores que contribuem para a deterioração do concreto são os relacionados com a vulnerabilidade inerente ao concreto

---

<sup>33</sup> A resistência mínima do painel de concreto é de 35 MPa e a relação água/cimento do fabricante nacional é de 0,40.

como a baixa resistência à tração e o alto módulo de elasticidade que contribuem para o aparecimento de fissuras nos componentes. Essas fissuras são caminhos preferenciais para a penetração de agentes agressivos, mesmo com o cobrimento adequado e baixa porosidade da matriz de cimento (COLLEPARDI, 1999; FREEDMAN, 1999).

Quando considerados os fatores expostos, geralmente, a vida útil de painéis de concreto é igual ou até superior ao critério de desempenho sugerido no *Quadro 2.10*. Entretanto, as juntas de vedação entre os painéis possui uma vida útil determinada, conforme apresentado no *Quadro 3.4*. A inspeção e, quando necessário, a reposição dos selantes, fazem parte de um programa de manutenção de edificações que se utilizam dessas alternativas de vedações. Além disso, as fixações devem permitir movimentações em função de variações higrotérmicas e deformações da estrutura.

### **3.6 Considerações sobre o capítulo**

Os painéis de concreto têm vantagens importantes, como precisão geométrica, variedade de dimensões e acabamentos, facilidade de instalação de caixilhos e incorporação de revestimentos na própria fábrica, fatores imprescindíveis na racionalização da vedação vertical. Porém, a redução dos espaços de manobra nos canteiros, as dificuldades no manuseio e transporte e a relativa limitação estética, parcialmente resolvida após a introdução de painéis de concreto arquitetônico, são barreiras que precisam ser vencidas para ampliação do uso desses painéis no mercado nacional.

É necessário o conhecimento de todas as propriedades e informações sobre o desempenho dos painéis, assim como um planejamento adequado, com ênfase em detalhes e especificações de projeto, para que haja uma completa integração entre os diversos subsistemas da construção do edifício, evitando o risco de decisões de obra que comprometam a qualidade da edificação. É importante ressaltar que o atendimento de todos os requisitos de desempenho não pode ser apenas avaliado para os painéis de concreto, mas para todo o sistema de vedação, incluindo as fixações e juntas, pontos críticos que podem comprometer a estabilidade, integridade e durabilidade do sistema.

No próximo capítulo, serão apresentados os aspectos de projeto, produção e montagem de painéis de GRC com ênfase em desempenho, bem como as suas características e tipos de painéis disponíveis no mercado internacional e nacional.

## 4. PAINÉIS DE GRC

### 4.1 Introdução

Paralelamente ao uso de painéis pré-fabricados, nota-se uma tendência na indústria da construção civil rumo à utilização de materiais reforçados com fibras que possibilitam a produção de componentes mais leves com elevado desempenho mecânico e conforto ambiental (BERGSTRÖM; GRAM, 1984; FIP, 1984; BALAGARU; SHAH, 1992).

As fibras, além de atuarem de modo semelhante ao das barras de aço no concreto armado, aumentam a capacidade de absorver deformações, a resistência à tração, à flexão e a impactos, atuando como um reforço aleatoriamente disposto ao longo de toda a matriz cimentícia, evitando o aparecimento de fissuras e garantindo o aumento da tenacidade do compósito pela ampliação da capacidade de suporte de carga da matriz após a sua fissuração (HANNANT, 1978; PROCTOR, 1990; PCI, 1994; MAJUMDAR; LAWS, 1991; AGOPYAN; JOHN, 2000).

Um exemplo nessa linha de materiais compósitos são os painéis de GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*), designação internacional, em que fibras de vidro resistentes a álcalis (AR) são adicionadas à matriz cimentícia. O GRC ou CRV (Cimento Reforçado com Fibra de Vidro), designação nacional, pode conter ainda *fillers*<sup>34</sup>, pigmentos, adições minerais e aditivos. Os painéis cimentícios reforçados com fibras de vidro permitem conciliar flexibilidade de projeto às vantagens da pré-fabricação.

O GRC pode substituir materiais tradicionais de construção civil em diversas aplicações, basicamente, sob a forma de argamassas aplicadas *in situ* ou de componentes pré-fabricados, principalmente, pela tendência a proibição quanto ao uso e manuseio de elementos em cimento-amianto (MAJUMDAR, 1975; WEIGLER, 1988). Os componentes pré-fabricados utilizam teores de fibras maiores e encontram aplicação em situações que explorem a leveza e facilidade de moldagem dos compósitos de cimento com fibras de vidro nas mais diversas formas e seções, necessária para a produção de elementos decorativos, chapas planas e corrugadas, rochas artificiais, instalações rurais, tubulações de grandes dimensões, mobiliário urbano, barreiras anti-ruído, pisos elevados e esquadrias (TRUE, 1985; MARTEN, 1990; GRCA, 1995).

---

<sup>34</sup> Material passante na peneira de malha 0,075 mm.

Apesar da diversidade de aplicações, o principal emprego do GRC, no mercado internacional, é na forma de painéis de vedação e revestimento de fachadas. Como painéis de vedação externo, ainda podem ser empregados na restauração de edifícios históricos, na reconstituição de componentes não disponíveis no mercado e na reabilitação de estruturas antigas ou danificadas por permitir a reprodução fiel do desenho, cor e textura originais dos elementos. Atualmente, encontra-se no mercado internacional painéis GRC que podem ser produzidos como peças inteiriças, que vencem todo o pé-direito ou apenas o vão entre as esquadrias, ou específicas para revestimento de pilares (PCI, 1994; PCI, 1995; PARK, 1996).

Os painéis de GRC têm sido utilizados nos Estados Unidos, Europa e Japão como uma alternativa de vedação capaz de ampliar consideravelmente o potencial arquitetônico de painéis pré-fabricados. A exemplo do ocorrido em nível internacional, a introdução dos painéis de GRC na indústria da construção civil brasileira possibilitará a oferta de uma tecnologia eficiente de vedação com vantagens para projetistas e executores (Quadro 4.1) (SILVA *et al.*, 1998). O fabricante nacional de painéis pré-fabricados de GRC encontra-se no estado de São Paulo. Entretanto, as edificações brasileiras com esta tecnologia encontram-se ainda na fase de projeto.

**Quadro 4.1: Vantagens e desvantagens da utilização dos painéis de GRC.**

Vantagens	Desvantagens
Versatilidade de geometrias, dimensões, cores e texturas superficiais	Fissuração superficial e falta de uniformidade, ocasionam prejuízos estéticos e favorecem a proliferação de microorganismos
Aptidão à incorporação de instalações e camadas de isolamento embutidas e fonoabsorventes	Sensibilidade da fibra de vidro em meios alcalinos, que reduz a vida útil dos painéis
Pequena espessura e leveza dos painéis, proporcionando ganho de área, alívio de carga para a estrutura; equipamentos de transporte de menor porte e facilidade de montagem	A incompatibilidade química entre a matriz de cimento e as fibras de vidro impede que o aumento significativo das resistências mecânicas, tenacidade e capacidade de deformação dos compósitos jovens seja mantido ao longo do tempo em ambientes úmidos
Propicia graduação do nível de isolamento termo-acústico de acordo com necessidades do projeto	Empenamento dos painéis causado pela diferença de temperatura e umidade entre as faces
Razoável resistência ao fogo e elevada resistência mecânica inicial	Sensível à perda de água, pode levar à deformação irreversível das peças
Fibras não susceptíveis à corrosão empregando cobrimento mínimo	Normalização em estudo pela ABNT, cujo o conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB-18)

As fotos 4.1 a 4.12 ilustram, no mercado internacional, algumas aplicações de painéis GRC e detalhes de edifícios antigos recuperados ou reproduzidos com GRC.



Foto 4.1: Gulf Oil Exploration and Production Company Building, Texas (PCI, s.d.).



Foto 4.2: Trans Pacific Centre, Oakland, Califórnia (PCI,1995).



Foto 4.3: De Anza Corporate Center, Cupertino, Califórnia (PCI, s.d.).



Foto 4.4: Cervantes Convention Center, Sant Louis, Missouri (PCI,1995).



Foto 4.5: San Francisco Marriott Hotel, Califórnia (PCI, 1995).



Foto 4.6: 720 Market Street, San Francisco, Califórnia (PCI, 1995).



Foto 4.7: Tacoma Financial Center, Washington (PCI, s.d.).



Foto 4.8: Mid-Continent Tower, Oklahoma (PCI, s.d.).



Foto 4.9: Wilshire Palm Office Building, Beverly Hills, Califórnia (PCI, 1995).



Foto 4.10: Frisco Building, Montana (PCI, s.d.).



Foto 4.11: Fairmont Hotel, Califórnia (PCI, s.d.).



Foto 4.12: Detalhes do Fairmont Hotel, San Francisco, Califórnia (PCI, s.d.).



Os painéis de GRC enquadram-se no grupo de vedações leves que caracterizam-se por apresentarem densidade superficial inferior a  $100 \text{ kg/m}^2$ , por sua utilização sem fins estruturais e como elementos de fechamento interno e externo.

Neste capítulo, após uma extensa revisão de literatura, visitas técnicas e contatos com fabricantes, pretende-se apresentar alguns aspectos de produção, projeto e montagem, com base em avaliação de desempenho dos painéis de GRC, assim como as vantagens de sua utilização nas vedações de edifícios com estruturas metálicas.

A escolha do painel de GRC como estudo de caso, baseia-se nos mesmos critérios que justificaram a escolha do painel de concreto, quais sejam, alternativa de vedação externa em matriz cimentícia, disponibilidade no mercado nacional e possibilidade de acompanhar a velocidade de execução de edifícios com estruturas metálicas. Além disso, pretende-se

apresentar a avaliação de desempenho para uma vedação leve em contraste ao apresentado no *Capítulo 3*.

A abordagem teórica sobre requisitos e critérios de desempenho realizada no *Capítulo 2* também fornece subsídios para a adequação do desempenho dos painéis de GRC, discutida nos itens 4.5.1, 4.3.3 e 4.5.3.

## 4.2 Tipos e características de painéis de GRC

A aplicação de GRC na produção de painéis pré-fabricados para vedações verticais foi primeiramente utilizada na Inglaterra, como extensão de pesquisas realizadas pelo BRE para o desenvolvimento das fibras de vidros resistentes a álcalis, resultando na produção de diferentes tipos construtivos de painéis de GRC (CRIA, 1992<sub>b</sub>; BROOKES, 1998; HARISON & VEKEY, 1998; BARTH, 2000):

- **painéis com geometria simples:** que é um paramento externo tipo casca. Normalmente, é utilizado para vãos de até 1 m e com espessura de 10 a 15 mm.
- **painéis com configuração em sanduíche<sup>35</sup>:** o material de isolamento, poliestireno ou poliuretano, é incorporado ao painel ainda na fase de produção. O inconveniente deste sistema são as pontes térmicas intrínsecas à união rígida entre as duas placas do painel.
- **painéis com enrijecimento incorporado:** uma estrutura metálica é utilizada para propiciar uma volumetria aos painéis e permitir sua fixação à estrutura da edificação. Porém, os painéis possuem dimensões pequenas e a estrutura metálica exerce mais a função de suporte do painel com geometria simples do que a de facilitar o processo de fixação.
- **painéis enrijecidos por uma estrutura metálica leve (*stud frame*<sup>36</sup>):** o painel de GRC é reforçado com uma estrutura metálica leve, incorporada ao painel na fase de projeção das placas de GRC.

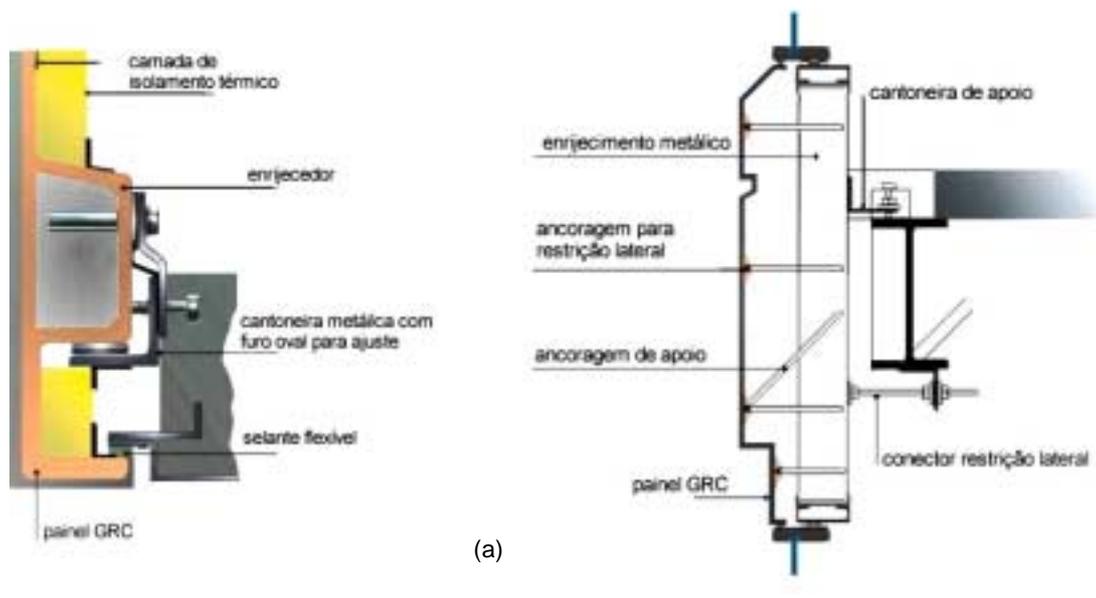
---

<sup>35</sup> No mercado nacional, os painéis de GRC com configuração em sanduíche tem sido a única alternativa de painéis em GRC. A consolidação da tecnologia de GRC possibilitará a utilização de painéis de GRC enrijecidos por uma estrutura metálica leve que, inicialmente, possui um custo elevado comparado aos painéis de GRC com configuração em sanduíche.

<sup>36</sup> Estrutura metálica composta por perfis leves em chapa dobrada, ligada ao painel por meio de placas de GRC (*bonding pads*) que fixam as ancoragens.

Os painéis com configuração em sanduíche<sup>37</sup> e os painéis tipo paramento externo (painéis com geometria simples), utilizando enrijecedores incorporados e cantoneiras de fixação aparafusadas, foram os primeiros a surgir no mercado internacional.

Os painéis com enrijecimento incorporado são utilizados ainda hoje (Figura 4.1a), porém com menor frequência devido à consolidação do emprego de painéis enrijecidos por uma estrutura metálica leve (Figura 4.1b), inovação criada na década de 70 pela indústria americana, que permite aumentar o tamanho e a liberdade de geometria das peças (MOLLOY, 1985; SCHULTZ *et al.*, 1987; PCI, 1994; McDOUGLE, 1995; PCI, 1995).



**Figura 4.1:** (a) Painel GRC com enrijecimento incorporado; (b) Painel GRC enrijecido por uma estrutura metálica leve (*stud frame*) (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

Em sua configuração mais comum, a cavidade criada entre os paramentos interno e externo, que compõem a vedação com painéis de GRC, é apropriada para abrigar a passagem de instalações e camadas de material isolante e fonoabsorvente (Figura 4.2).

Além de propiciar a graduação do nível de isolamento termoacústico de acordo com as condições de exposição, essa característica contribui para a racionalização dos projetos

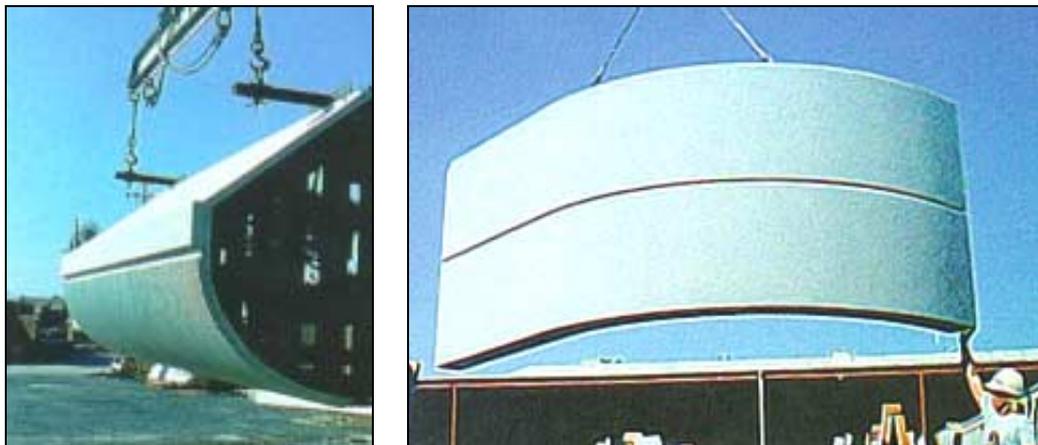
<sup>37</sup> A configuração sanduíche foi experimentada nas pesquisas iniciais de painéis GRC e, posteriormente, desaconselhada devido aos empenamentos rigorosos que podem surgir com a diferença de temperatura e umidade entre as faces do painel.

complementares e para o aumento na área útil dos pavimentos, normalmente prejudicada pela necessidade de maior espessura de parede para oferecer níveis de conforto termoacústico equivalentes.



**Figura 4.2:** Passagem de tubulações na cavidade entre os painéis de revestimento e o paramento interno (PCI, 1994).

A utilização de cimento reforçado com fibras de vidro confere grande flexibilidade de formas, dimensões, cores e texturas superficiais aos componentes. A tixotropia inicial induzida pelo efeito das fibras na matriz, associada à modalidade da mistura e às características das tecnologias de produção permite a conformação de painéis retilíneos, curvos e peças de canto com raio reduzido ou mesmo arestas vivas (Figura 4.3) (FIP, 1984; BENTUR; MINDESS, 1990; PCI, 1994).



**Figura 4.3:** Diferentes formas e dimensões estão disponíveis para painéis reforçados com fibra de vidro (PCI, 1995).

Um dos principais fatores que determinam a modulação adotada no projeto é o número de reutilizações dos moldes, que influencia diretamente o custo final do painel, independentemente da complexidade superficial do componente.

### 4.3 Aspectos de fabricação e de produção que influenciam no desempenho

#### 4.3.1 Processos de produção

O GRC pode ser fabricado pelos processos de **pré-mistura**, a partir de **adaptações do processo de produção de plástico reforçado ou cimento amianto** (Quadro 4.2) e **métodos de projeção**. Os métodos de projeção são analisados separadamente já que são os mais usuais na confecção de painéis. Na etapa de fabricação do GRC, faz-se necessário o controle de qualidade dos processos de produção de maneira a garantir o desempenho estrutural e a durabilidade do componente previsto em projeto.

**Quadro 4.2: Características dos processos utilizados na produção de componentes GRC (a partir de SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

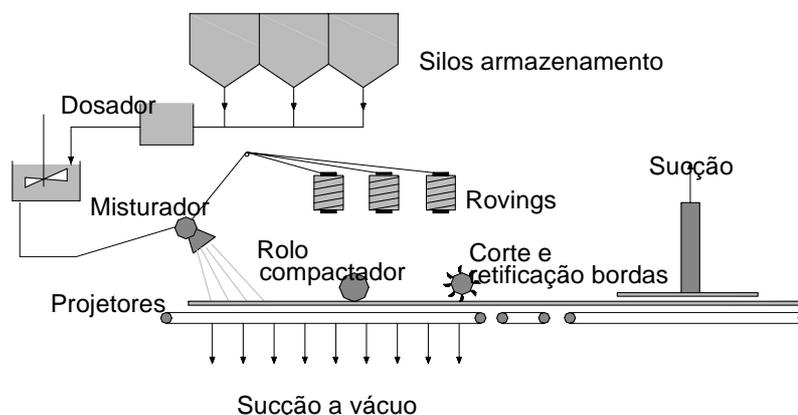
Processo de produção	
Pré-mistura	Adaptações da indústria de plástico reforçado ou cimento amianto
Os componentes do GRC são misturados e moldados, injetados em moldes fechados, extrudados ou prensados;	Métodos que obtêm uma melhor resistência em uma ou duas direções, utilizando fibras contínuas ou uma combinação de fibras contínuas e discretas ou só picadas;
Teor de fibras de 1,5 e 3% da massa dos demais sólidos secos; Feixes de fibras de 10 a 25 mm de comprimento; Comprimentos maiores de fibras complicam a compactação e a homogeneização da mistura;	O processo de laminação mais adequado para confecção de peças de pequenas dimensões e muito ornamentadas é o manual ( <i>lay-up process</i> ), que utiliza fibras contínuas ( <i>rovings</i> ou mantas) com teor de 15 a 20% da massa dos demais sólidos secos; Distribuição uniforme das fibras;
Um aspecto negativo desse processo é a tendência à distribuição tridimensional das fibras.	Elevado custo.

Nos métodos de projeção, as fibras são distribuídas bidimensional e aleatoriamente. Os componentes gerados têm o dobro da resistência mecânica de produtos similares obtidos por pré-mistura, pois o método não danifica a superfície das fibras e distribui bidimensionalmente um maior volume de fibras mais longas, além de possibilitar a adoção de menores relações água/cimento e garantir o desempenho global previsto em projeto (MAJUMDAR; NURSE, 1974; HILLS, 1975; HANNANT, 1978; BENTUR; MINDESS, 1990; BROOKES, 1998).

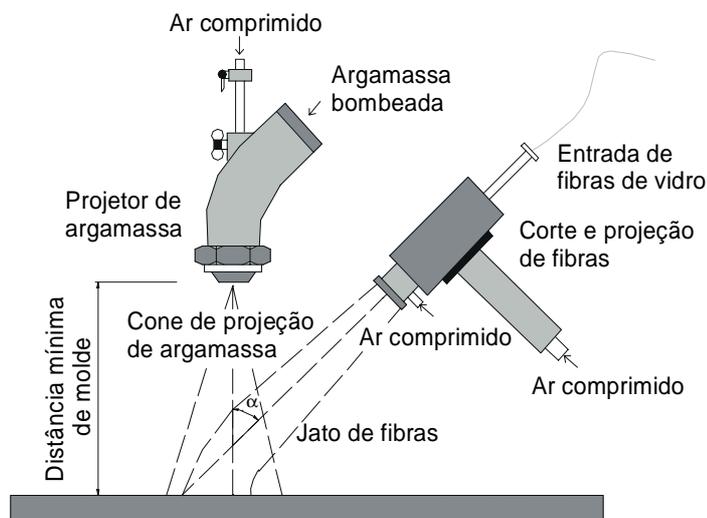
A projeção pode ser indireta (*spray-suction*), que possui um excelente desempenho com um custo elevado, ou direta (*spray-up*) que pode ser por projeção manual ou pela projeção *spraymix* (Quadro 4.3). Em ambos os processos, antes da projeção, é aplicada uma camada fina de pasta (*mist coat* ou *face coat*) contra o molde, para evitar a exposição das fibras na superfície do componente (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

**Quadro 4.3: Propriedades da projeção direta e indireta (a partir de HANNANT, 1978; BENTUR; MINDESS, 1990; McDOUGLE, 1995).**

Métodos de projeção	
Indireta ( <i>spray-suction</i> )	Direta ( <i>spray-up</i> ) manual ou automática
Os feixes contínuos de fibras são projetados juntamente com a matriz contra o molde revestido com papel de filtro, retirando-se o excesso de água por sucção à vácuo ( <b>Figura 4.4</b> ); Teor ótimo de fibras de 6%;	Os feixes contínuos de fibras e a matriz são lançados em camadas de 6 a 8 mm por projetores diferentes, juntando-se sobre o molde ( <b>Figura 4.5</b> ). As camadas são sucessivamente projetadas até que atinjam a espessura desejada, sendo cada uma compactada manualmente; Teor de fibras de 3 a 5%;
Feixes contínuos de fibras cortados em comprimentos de 10 a 50 mm; Maior teor de fibras permite uma desmoldagem imediata e modificação da chapa plana em outras formas variadas;	Feixes contínuos de fibras cortados em comprimentos de 38 mm;
Automatização viabiliza produção em série. Método restrito para a produção de painéis com geometria simples.	Como não há sucção à vácuo, a relação água/cimento deve ser baixa, entre 0.30 e 0.35, complementando o compósito com aditivos para a obtenção de uma consistência adequada à projeção.



**Figura 4.4: Esquema em corte da projeção indireta (*spray-suction*) (HANNANT, 1978).**



**Figura 4.5:** Esquema em corte do bico utilizado na projeção direta (*spray-up*) (a partir de BENTUR; MINDESS, 1990).

A seleção do método de produção<sup>38</sup> mais adequado depende da geometria e do tipo dos painéis especificados em projeto, das tensões nas etapas de manuseio e requeridas na instalação e uso na edificação, sempre visando a necessidade de atendimento a requisitos e critérios de desempenho previstos.

Estão sendo introduzidos métodos mecanizados (Figura 4.6) substituindo a projeção e a compactação manual (Figura 4.7). Além de uma considerável redução do tempo e do número de operários, estes equipamentos propiciam um melhor controle da uniformidade do compósito, da distribuição das fibras, da espessura dos painéis e da qualidade do componente com resultados positivos no seu desempenho global (Figura 4.8) (BALAGUER *et al.*, 1993; BALAGUER *et al.*, 1995).

Um exemplo dessa mecanização são os projetores transversais, que utilizam um bico de projeção no sentido longitudinal e outro no sentido transversal. A velocidade de corte das fibras desses projetores é compatível com a de projeção, permitindo fabricar painéis a partir de uma única camada de projeção, mas com largura do painel limitada a 3,60m, que é o vão do pórtico do equipamento (BENNETT Jr., 1988).

<sup>38</sup> O fabricante nacional utiliza os seguintes processos de produção do GRC: o método de pré-mistura e o método de projeção direta com projeção manual. A seleção do processo produtivo ideal depende da aplicação do GRC especificada.



Figura 4.6: Equipamento para projeção mecânica (GRCA, 1995).



Figura 4.7: Pannel sendo produzido por projeção e adensamento manual (PCI, 1995).

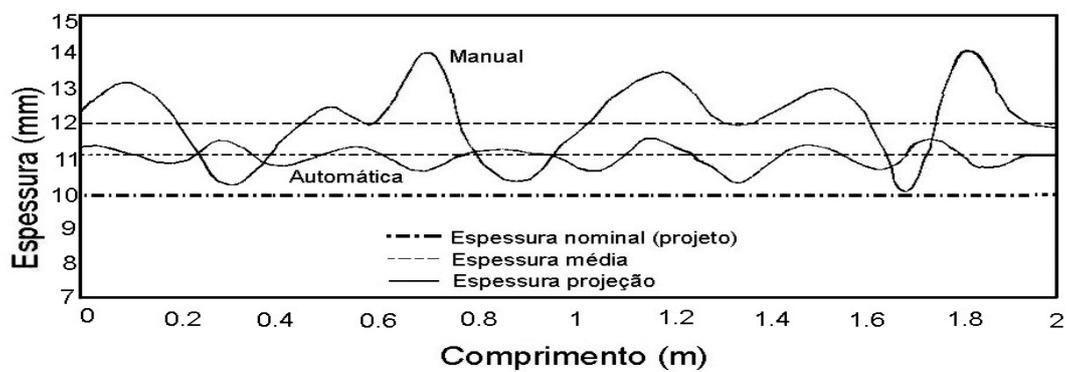


Figura 4.8: Variabilidade da espessura projetada manual e automaticamente (BALAGUER *et al.*, 1995).

A fusão dos métodos de projeção direta e de pré-mistura resulta no processo *spraymix*, isto é, projeção do compósito pré-misturado. Esse processo é composto por um misturador especial, capaz de produzir compósitos homogêneos e com elevado teor de fibras, sem aprisionamento de ar e prejuízo da integridade dos filamentos. O material é projetado com alta velocidade, promovendo assim auto-adensamento. Não é necessária a aplicação de *mist coat* e de adensamentos intermediários (Cem-FIL Ltd., 1994).

Na fabricação de painéis de grandes dimensões, deve-se utilizar enrijecedores pré-fabricados (estruturas metálicas leves, tubos estruturais ou chapas metálicas) ou nervuras na face interna do painel, obtidas pela projeção de GRC em torno de tiras de poliestireno expandido ou espuma de poliuretano previamente distribuídas (Figura 4.9). Cada um desses sistemas fornece meios para ligação dos painéis à estrutura do edifício (SILVA, 1998<sub>b</sub>).



Figura 4.9: Nervuras para enrijecimento de painéis GRC (PCI, 1995).

Os elementos de isolamento, enrijecimento e ancoragem são posicionados entre os sucessivos ciclos de projeção de compósito (BALAGUER *et al.*, 1995). Nos painéis enrijecidos por estrutura metálica leve, a confecção e o posicionamento das chapas que ligam as ancoragens ao painel de GRC (*bonding pads*<sup>39</sup>) são feitos manualmente (Figura 4.10).

---

<sup>39</sup> Porção suplementar de GRC com área efetiva mínima de 155cm<sup>2</sup> que cobre a base das ancoragens em “L” soldadas ou aparafusadas à estrutura de enrijecimento (PCI, 1994). A área ideal para a chapa de ligação deve ser definida por ensaios de arrancamento axial ou por cisalhamento de corpos de prova envelhecidos (PCI, 1991).

Após o adensamento, os painéis de GRC devem passar por um processo de cura. Quando se utiliza a cura úmida é necessário cobrir os painéis com um filme de polietileno e deixá-los em câmara de cura por no mínimo 7 dias (PCI, 1991).

Visando diminuir as deficiências na cura e o tempo de produção, recomenda-se aplicar emulsões poliméricas que formam um filme retentor de umidade, ajudando a garantir a hidratação do cimento e a inibir fissuração superficial.



Figura 4.10: Posicionamento e incorporação do enrijecimento metálico a painéis GRC (PCI, 1995).

### 4.3.2 Formulação e propriedades típicas de painéis de GRC

A formulação básica de painéis de GRC compreende os seguintes materiais (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; BROOKES, 1998; COMINO ALMENARA, 2000): cimento *Portland*; areia com granulometria não superior a 1,2 mm para o processo de produção *Spraymix* e com granulometria até 2,4 mm para o processo de pré-mistura; água; fibras de vidro AR; adições normalmente de base acrílica e aditivos que dependem das propriedades requeridas e do método de produção utilizado.

A melhor dosagem do GRC é definida pela necessidade de atendimento a requisitos e critérios de desempenho e pelos processos de fabricação dos painéis. A seleção dos materiais constituintes é função de sua adequação à tecnologia adotada na produção do componente e às condições de exposição a que estarão submetidos.

De acordo com o produto final, define-se a utilização ou não de aditivos redutores de água, incorporadores de ar e aceleradores ou retardadores de pega, pigmentos e adições minerais (PCI, 1994). Não devem ser usados aceleradores à base de cloreto de cálcio que, além do

problema de corrosão das fixações metálicas, provocam diversas reações negativas no compósito, como a tendência de aparecimento de manchas e eflorescências.

A natureza dos procedimentos de projeção define as características dos agregados que devem ser controladas nas misturas GRC, quais sejam: dimensão máxima característica 0,85 mm; grãos arredondados; e teor de finos < 2% (FIP, 1984; BALAGURU; SHAH, 1992; PCI, 1994).

Na camada de acabamento, a dimensão máxima característica do agregado deve ser inferior a 10 mm. Adicionalmente, a cor e textura especificadas no projeto do painel determinam a graduação, a cor e a proporção entre diferentes agregados (PCI, 1994; McDOUGLE, 1995).

O Quadro 4.4 indica a dosagem típica dos materiais usados na produção de painéis de GRC visando ao controle da retração e da variação volumétrica e garantia da resistência, estanqueidade e durabilidade.

**Quadro 4.4: Formulação típica de misturas GRC empregadas na produção de painéis de fachada (Cem-FIL LTD., 1996).**

Constituintes (por m <sup>3</sup> )	Tecnologia de Produção	
	Projeção (5% fibras)	Pré-mistura e Moldagem (3% fibras)
Cimento	723,56 kg	723,56 kg
Areia	723,56 kg	723,56 kg
Plastificantes	10,20 kg	10,20 kg
Polímeros	200,84 kg	200,84 kg
Fibras AR	100,64 kg	60,30 kg
Água	241,19 kg	281,53 kg
Relação água/cimento	0,33	0,39

Para painéis de fachada, de modo geral, duas propriedades são particularmente relevantes para a garantia da segurança estrutural, estanqueidade e durabilidade do sistema de vedação vertical: *absorção de água e retração por secagem*. A absorção de água afeta diretamente a estabilidade dimensional e o peso do componente. A retração por secagem provoca fissuras, mas é inevitável diante do elevado consumo de cimento necessário para evitar a exposição das fibras e facilitar o bombeamento (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

Diversos estudos relataram a redução na absorção de água e na retração por secagem na medida em que aumentava o teor de fibras até um teor ótimo que, por sua vez, passa dificultar o adensamento (ALI *et al*, 1975; BALAGURU; SHAH, 1992; MAJUMDAR; LAWS, 1991).

Para um controle maior dessas propriedades, deve-se adotar medidas de dosagem adequadas, compreendendo (HILLS, 1975; HANNANT, 1978; PCI, 1994):

- aumento do teor de areia, que diminui a retração e evita o empenamento irreversível dos componentes;
- redução da relação água/cimento;
- uso de polímeros na matriz;
- uso de agregados com granulometria bem graduada;
- aditivos plastificantes e redutores de água (apenas para o método de projeção);
- cura a vapor.

A cura é um cuidado especialmente importante, fundamental para evitar maior retração por secagem decorrente da evaporação de água. Cabe ressaltar que tanto o processo de fabricação quanto a cura influenciam nas propriedades mecânicas dos compósitos, seja pela capacidade de incorporação de fibras e suas características (comprimento, diâmetro) ou pela influência na resistência da matriz e pela natureza da interface fibra-matriz (OLIVEIRA, ANTUNES, 2000). Visando ao aumento da durabilidade de sistemas GRC é necessário, ainda, controlar algumas características das matrizes, como (AGOPYAN, JHON, 2000; OLIVEIRA, 2000):

- no caso de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de vidro E, a alcalinidade, devido ao ataque dos íons hidroxila sobre as fibras de vidro E;
- natureza dos produtos formados na hidratação e carbonatação do cimento, como a densificação na interface fibra-matriz que aumenta a aderência, levando a um crescimento da fração em que se rompem, reduzindo a utilidade do compósito.

O Quadro 4.5 mostra algumas propriedades técnicas dos painéis de GRC em relação a tecnologia de produção para a garantia da segurança estrutural.

**Quadro 4.5: Propriedades típicas de painéis GRC aos 28 dias (GRCA, 1995).**

Propriedades	Tecnologia de produção	
	Projeção	Pré-mistura e moldagem
Resistência à tração na flexão	20-30 MPa	10-14 MPa
Resistência à tração última	8-11 MPa	4-7 MPa
Resistência à compressão	50-80 MPa	40-60 MPa
Resistência a impacto	10-25 kJ/m <sup>2</sup>	10-15 kJ/m <sup>2</sup>
Módulo de elasticidade	10-20 GPa	10-20 GPa
Deformação na ruptura	0,6-1,2%	0,1-0,2%

### 4.3.3 Acabamentos em painéis de GRC

Normalmente é possível aplicar diversas cores e texturas aos componentes em GRC, seja por requisito estético ou para reproduzir outros componentes de construção (Figura 4.11). Os acabamentos mais recomendados, em painéis de GRC, podem ser obtidos através das seguintes alternativas (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; PCI, 1994; PCI, 195; BROOKES, 1998):

- **aplicação de textura na superfície do molde**, em que é possível obter alguns detalhes e formas com baixo e alto relevo nos painéis através de elementos adicionais com distintos materiais preparados sobre o molde;
- **tratamentos superficiais**, em que a remoção da pasta em torno dos agregados pode ser feita quimicamente, utilizando retardadores ou aplicando ácido diluído; ou mecanicamente, utilizando abrasivos, escovas, jato de areia ou polimento resultando em diferentes graus de exposição. A granulometria dos agregados constituintes da mistura determina a textura final dos componentes;
- **pigmentação**: a cor do painel é normalmente obtida pela formulação de uma mistura de acabamento, pigmentada ou não, ou pela modificação natural da mistura pela deposição de agregados decorativos de distintas cores;

A norma ASTM C979 (1993) determina que os pigmentos, quando utilizados, devem ser estáveis sob alta temperatura e radiação ultravioleta, resistentes a meios alcalinos e inofensivos à pega do cimento e à resistência do GRC e da camada de acabamento. Deve-se também garantir que os pigmentos não afetem a porosidade e a durabilidade do GRC.



**Figura 4.11: Acabamentos superficiais para painéis de GRC (PCI, 1995).**

A alternativa de acabamento superficial mais econômica é a aplicação de textura na superfície do molde, com os devidos cuidados para evitar a falta de uniformidade de aspecto e a fissuração superficial da pasta de cimento que reveste o painel.

A coloração e a textura especificadas no projeto do painel determinam a graduação, a cor e a proporção entre diferentes agregados. Qualquer variação nesses parâmetros altera significativamente a uniformidade e a aparência final do componente, especialmente se o tratamento superficial aplicado utilizar retardadores e jateamento com areia.

Especificamente, na confecção de painéis de fachada, não se deve utilizar pigmentos escuros devido ao aumento da absorção da radiação solar. Além disso, quanto mais escura a coloração, maior será a variação de tonalidade (PCI, 1994).

Há ainda, como alternativa de acabamento, o uso de materiais de revestimento como placas de granito, terracota e cerâmica. Entretanto, o uso desses materiais como padrões de acabamento implica no emprego de barreiras de aderência, elementos que permitem a movimentação das várias camadas do painel, na interface das placas, e de ancoragens flexíveis que minimizem as tensões geradas no GRC devido à movimentação diferencial de revestimentos (PCI, 1991; PCI, 1994).

Diferenças notáveis entre o comportamento do revestimento e do painel em relação à retração, absorção de umidade e coeficiente de dilatação térmica, certamente, resultarão em

deformações ou tensões elevadas, que freqüentemente superam a resistência à tração do compósito envelhecido. A restrição exercida por revestimento cerâmico, por exemplo, chega a 23 MPa, que é cerca de três vezes a resistência à tração última do GRC envelhecido (PCI, 1994; McDOUGLE, 1995). Essa restrição pode resultar em deslocamentos e prejuízo ao desempenho do subsistema.

A complexidade do perfil geométrico e a incorporação de revestimentos mais rígidos não representariam maiores problemas caso o compósito mantivesse a sua elevada resistência mecânica inicial. No entanto, o que se observou nos compósitos produzidos até a metade da década de 90 foi uma redução significativa de resistência, que obriga a adoção de resistência de projeto muito inferior à resistência inicial (em torno de 6 MPa, na flexão).

Já existem avanços na formulação da matriz para solucionar a questão do envelhecimento, no entanto, até que seja devidamente comprovado, a incorporação de revestimentos aos painéis deve ser vista com cautela.

Em vista disso, SILVA (1998<sub>b</sub>) recomendou expressamente que, devido ao estado atual de conhecimento da tecnologia, para evitar tensões diferenciais entre o revestimento e o painel, somente sejam empregados painéis integralmente pigmentados ou recobertos por misturas de acabamento com composição semelhante a do GRC<sup>40</sup> e com absorção de água e dimensão máxima características dos agregados controlados.

Os projetistas devem, portanto, explorar a gama de possibilidades oferecida por painéis de dimensões realistas, pigmentados e/ou com agregado exposto ou outro acabamento superficial do próprio painel.

#### **4.4 Aspectos de projeto e de montagem que influenciam no desempenho**

##### **4.4.1 Geometria e modulação**

O dimensionamento dos painéis de GRC é dependente das solicitações mecânicas e físicas, impostas durante o manuseio e utilização do painel, como o carregamento causado por cargas de vento, impacto e peso próprio, bem como deformações do GRC causadas por tensões internas e dilatação térmica de maneira a garantir o desempenho estrutural do painel.

---

<sup>40</sup> As tensões de tração na flexão medidas para as misturas de acabamento testadas por PFEIFER *et al.* (1992) foram de aproximadamente 12 MPa.

As principais diretrizes que orientam o projeto de painéis GRC podem ser reunidas em torno de dois princípios básicos: (1) dimensionar o painel de modo que as tensões sejam sempre mantidas abaixo do limite elástico do compósito e (2) permitir que a camada GRC movimente-se livremente em resposta às alterações ambientais. Modificações da formulação das matrizes visando controlar essa movimentação e, também, os mecanismos de envelhecimento detectados nos compósitos à base de cimento *Portland* estão sendo estudados (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

Devido à rapidez e à magnitude das deformações higrotérmicas sofridas pelos painéis, o projeto deve buscar formas de minimizar as restrições internas, causadas pela geometria dos painéis e pela utilização de materiais de acabamento incompatíveis; e as restrições externas, provocadas pela rigidez das ancoragens de ligação entre o painel e o enrijecimento metálico ou pela incapacidade das fixações acomodarem a movimentação diferencial entre o painel e a estrutura do edifício (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; BOROOKES, 1998).

As características geométricas dos painéis definem a complexibilidade dos moldes e têm reflexos importantes no dimensionamento do GRC e no projeto do sistema de fixação. Quando a geometria é complexa, o peso próprio do painel raramente gera tensões de compressão pura (SCHULTZ *et al.*, 1987; PCI, 1994). Relevos profundos criam regiões de flexão no GRC (Figura 4.12, *situação 2*) e precisam ser reforçados adequadamente (OESTERLE *et al.*, 1990). Em painéis de perfil complexo, as ancoragens de ligação tornam-se mais longas e lateralmente instáveis sob ação do vento (Figura 4.12, *situação 1*). Ancoragens muito curtas, por outro lado, tendem a restringir a movimentação e criar tensões de flexão no GRC (Figura 4.12, *situação 4*). A geometria do painel pode, ainda, criar áreas parcialmente sombreadas ou protegidas da incidência direta da chuva (Figura 4.12, *situação 3*), que originarão tensões diferenciais no GRC (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

Normalmente, são utilizados painéis de dimensões de 1,5m a 3m de altura por 2m a 6m de comprimento, para espessuras entre 13 mm e 20 mm. A densidade superficial dos componentes varia de 50 a 120 kg/m<sup>2</sup>, dependendo da forma, dimensão e tipo de acabamento. A espessura da camada de GRC não deve ser inferior a 13 mm devido ao risco de exposição de fibras e à heterogeneidade inerente ao processo de projeção, que pode gerar pontos com espessura inferior à especificada (SCHULTZ, *et al.*, 1987; PCI, 1994; McDOUGLE, 1995).



**Figura 4.12:** Influência da geometria dos painéis sobre a natureza das tensões atuando na camada de GRC (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

O reforço bidimensional proporcionado pelas fibras permite que os painéis GRC tenham sua maior dimensão tanto no sentido horizontal como vertical (Figura 4.13), o que facilita a definição da modulação da fachada.



**Figura 4.13:** Flexibilidade de projeto: os painéis de cimento reforçado com fibras de vidro admitem diversas formas, cores, texturas e acabamentos (PCI, 1995).

A versatilidade de geometria e seções pode ser explorada para criar recuos no plano das esquadrias, um recurso de sombreamento horizontal e vertical que contribui na redução do ganho de calor por incidência solar direta sem prejuízo da ventilação e iluminação naturais (Figura 4.14) (PCI, 1995; SILVA, 1998<sub>b</sub>). A modulação dos painéis deve ser orientada para a maximização do reaproveitamento dos moldes.



Figura 4.14: Painel com esquadria recuada em relação ao plano da fachada (PCI, 1995).

O posicionamento das aberturas na fachada interfere na modulação dos painéis e no lançamento das juntas de dilatação e eventuais juntas falsas, que são utilizadas como elementos de linguagem arquitetônica e podem destacar ou dissimular a paginação e diminuir o impacto visual devido ao tamanho dos painéis. É sempre preferível trabalhar com aberturas menores e completamente envolvidas pelo GRC (Figura 4.15a).

No caso de grandes vãos, a área de GRC deve ser dividida em panos menores, priorizando a continuidade das juntas horizontais (Figura 4.15b) (PCI, 1994; SILVA, 1998<sub>b</sub>; BARTH, 2000).

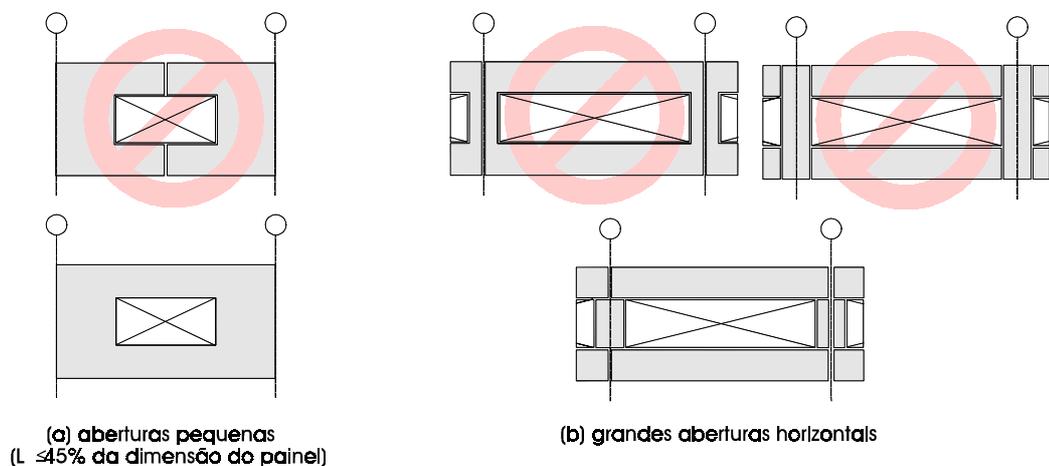


Figura 4.15: Dimensões e aberturas em relação a modulação dos painéis em GRC (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

#### 4.4.2 Influência das juntas no desempenho dos painéis de GRC

As técnicas e os princípios de vedação de juntas em componentes e painéis de GRC são similares aos apresentados para painéis de concreto (*Item 3.4.2*), que possuem um papel importante no desempenho global da vedação vertical. O projeto de juntas irá determinar o seu dimensionamento e a necessidade de barreiras intermediárias de maneira a adequar à classe de desempenho desejada como, segurança contra o fogo, estanqueidade e isolamento termo-acústico.

Entretanto, diferente dos painéis de concreto, as juntas com selantes elásticos são as mais utilizadas, podendo ser em silicone de baixo módulo, polisulfeto mono e bi-componente e, poliuretano mono e bi-componente. Além do selante propriamente dito, o sistema de selagem de juntas é composto pelo material de enchimento e, de acordo com as características do selante e das superfícies, um *primer* para melhorar a aderência e garantir o desempenho previsto da vedação (ASTM C1193, 1991; PCI, 1994; CIRIA, 1992<sub>b</sub>; HUTCHINSON *et al.*, 1995; BROOKES, 1998). Nos painéis de GRC, ainda são necessárias abas laterais em GRC com, 38 mm a 50 mm, para permitir a aplicação do selante nas juntas e, também, servir de reforço perimetral dos painéis (Figura 4.16) (PCI, 1994; PCI, 1995).

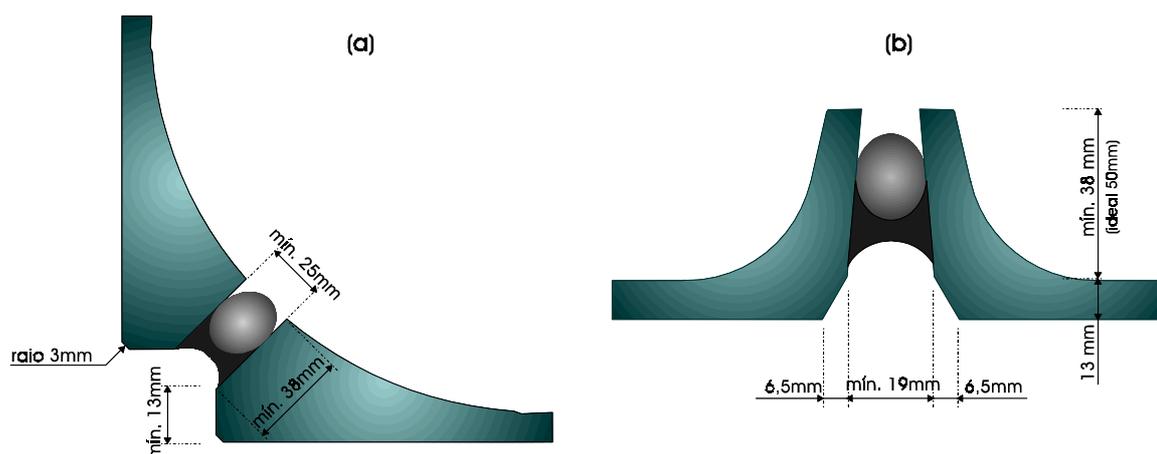


Figura 4.16: Detalhe típico de juntas entre painéis: (a) junta de canto do painel; (b) junta entre painéis (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

As juntas abertas de drenagem não são utilizadas pela dificuldade de execução (e excesso de rigidez) de extremidades com os sulcos necessários para encaminhamento da água e

embutimento das faixas de neoprene, utilizadas para preenchimento de juntas (BROOKES, 1998).

Devem-se utilizar no dimensionamento das juntas, valores conservadores para o coeficiente de dilatação térmica do GRC e para a amplitude térmica experimentada pela fachada, cuja temperatura superficial pode ser de 11 °C a 45 °C superior à do ar exterior (PCI, 1994). O emprego de painéis escuros torna-se, no Brasil, definitivamente desaconselhável, pois esses absorvem maior parcela da radiação solar e a camada de isolamento impede a dissipação do calor em direção à face interna, aumentando ainda mais a temperatura superficial e os problemas a ela relacionados (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

O dimensionamento sugerido pelo PCI (1994) adota a recomendação da ASTM C719, que determina que os selantes devem acomodar deformações de  $\pm 25\%$  da largura original da junta. A equação utilizada para o dimensionamento da largura e da profundidade das juntas de selantes é a mesma para painéis de concreto, que também depende do tipo de movimento que atua na junta e da capacidade de deformação elástica do material utilizado (Quadro 4.6).

**Quadro 4.6: Características dos tipos de selantes (a partir DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995).**

Selante	Comportamento	Capacidade deformação	Vida útil	Obs.
Silicone de baixo módulo	elástico	50%	25 anos	necessidade de limpeza na superfície cura de 2 a 3 semanas
Polisulfeto mono-componente	elastoplástico	20%	20 anos	necessidade de limpeza na superfície cura lenta (mais de 3 semanas)
Polisulfeto bi-componente	elastoplástico	30%	20 anos	necessidade de limpeza na superfície cura rápida de 1 a 2 dias utilizado para juntas largas
Poliuretano mono-componente	elastoplástico	30%	25 anos	necessidade de limpeza na superfície muito resistentes
Poliuretano bi-componente	elástico	30%	25 anos	necessidade de limpeza na superfície muito resistentes

Nos casos em que esse dimensionamento resultar em juntas muito largas, que consumam quantidades excessivas de selante, trazendo dificuldades no processo de “endurecimento”, ou comprometam o resultado estético da fachada, deve-se optar por um selante com maior capacidade de deformação.

#### 4.4.3 Influência da montagem e fixação no desempenho dos painéis de GRC

O aumento significativo da resistência mecânica inicial, decorrente da adição de fibras de vidro, é fundamental para evitar quebras e danos superficiais durante o manuseio e instalação dos painéis, que podem comprometer a segurança, estanqueidade e durabilidade do painel. A estas características soma-se a não susceptibilidade das fibras ao ataque de agentes agressivos do meio garantindo a durabilidade da vedação.

A densidade superficial dos componentes em GRC é significativamente inferior à de painéis similares em concreto, reduzindo a imposição de cargas permanentes, seções de elementos de fundação, porte dos equipamentos e custos unitários de transporte (BENNETT Jr., 1988). Semelhante aos painéis de concreto, o fechamento em painéis de GRC caracteriza-se por acoplamento mecânico.

Os painéis de GRC, em sua versão mais comum, são entregues nas obras enrijecidos por uma estrutura metálica, que promove a fixação dos painéis à estrutura do edifício e serve de suporte para a aplicação dos elementos de acabamento interno e para os caixilhos das esquadrias (Figura 4.17).

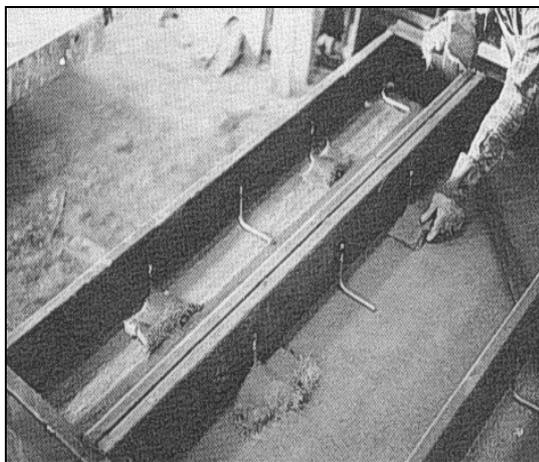
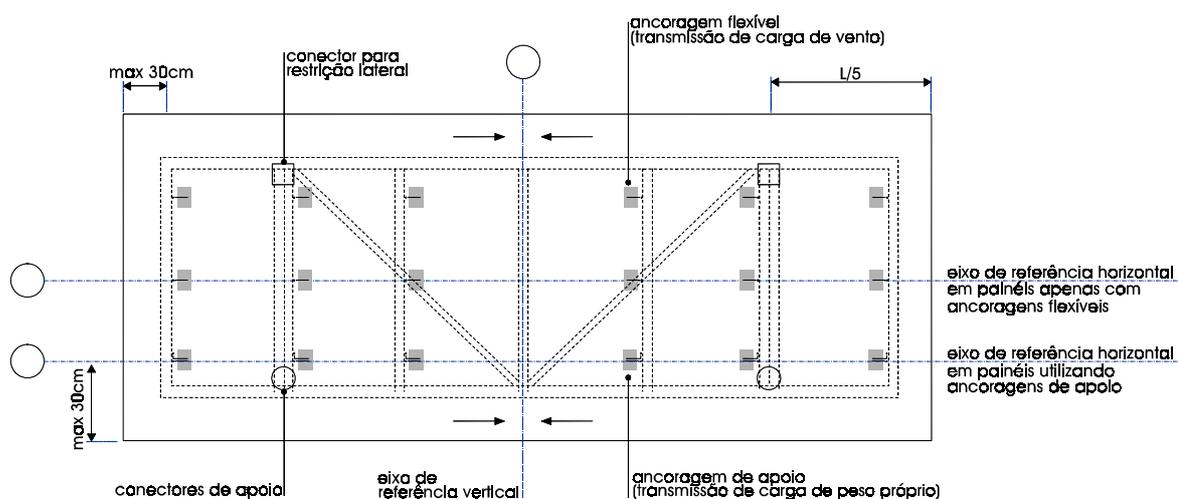


Figura 4.17: Enrijecimento metálico leve nos painéis em GRC (PCI, 1994).

O sistema de enrijecimento e fixação, responsável por garantir a estabilidade estrutural dos painéis, é constituído por: *ancoragens flexíveis* que ligam o painel ao enrijecimento metálico e transmitem a carga de vento e o peso próprio do painel; *conectores de apoio* que suportam o peso próprio e *conectores de apoio* para a restrição lateral (Figura 4.18) (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; PCI, 1994; BARTH, 2000).



**Figura 4.18:** Esquema típico de ancoragens de fixação em painéis de GRC enrijecidos por uma estrutura metálica leve (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

A ligação do GRC ao enrijecimento deve ser feita homogeneamente, de forma a evitar restrição excessiva à movimentação higrotérmica do material. Os balanços nas bordas e abas laterais “L” devem ser inferiores a 30 cm. As esquadrias devem ser fixadas ao sistema de enrijecimento e nunca ao GRC (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

A fixação de painéis GRC enrijecidos por uma estrutura metálica leve é feita através de cantoneiras e ou pinos aparafusados à estrutura do edifício, que devem permitir movimentações decorrentes de deformações higrotérmicas e estruturais. Para mantê-los em situação de compressão, as fixações que recebem o peso próprio dos componentes localizam-se próximas à base do painel, sendo as fixações no topo destinadas apenas ao posicionamento e restrição lateral. Não se devem utilizar linhas intermediárias de fixação na vertical (Figura 4.18) (PCI, 1994; BROOKES, 1998).

Já os painéis de GRC com enrijecedores incorporados são aparafusados à estrutura da edificação por quatro pontos de fixação (Figura 4.19):

- dois pontos posicionados junto à base para suportar o peso próprio do painel, sendo que um deles é fixo e serve como referência de locação;
- dois pontos que contribuem para a estabilidade lateral e resistência à carga de vento que permitem deslocamento horizontal e vertical.

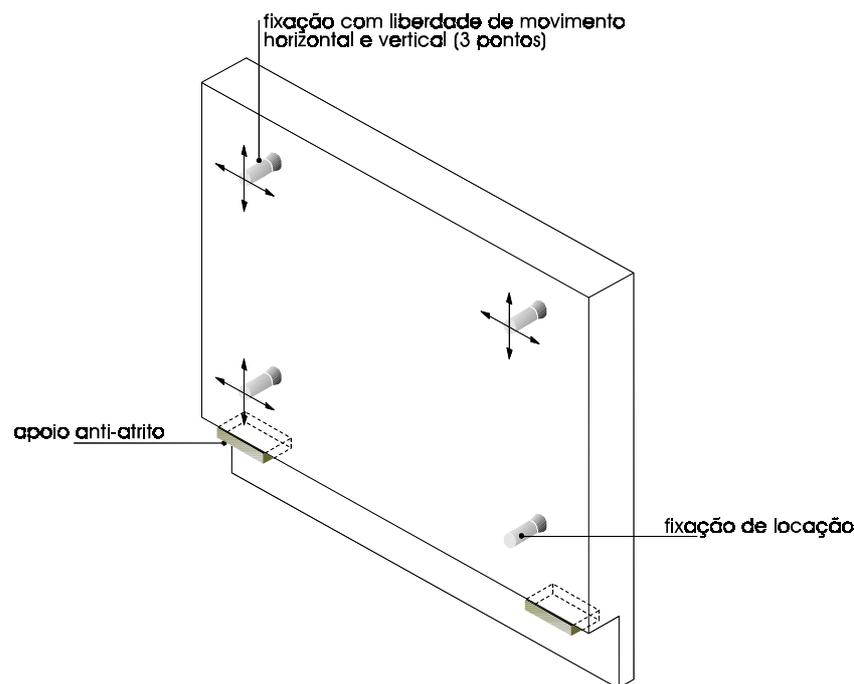


Figura 4.19: Esquema de fixação de painéis com enrijecedores incorporados (CIRIA, 1992<sub>b</sub>).

Todos os pontos devem permitir ajuste na direção perpendicular ao plano do painel. As buchas devem ser fixadas no GRC em locais próprios, com adequada distribuição de fibras, deixando uma saliência para evitar danos no aperto dos parafusos e chumbadores (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; GRCA, 1995). É recomendado chanfrar as arestas para evitar fixações muito próximas das bordas dos painéis (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

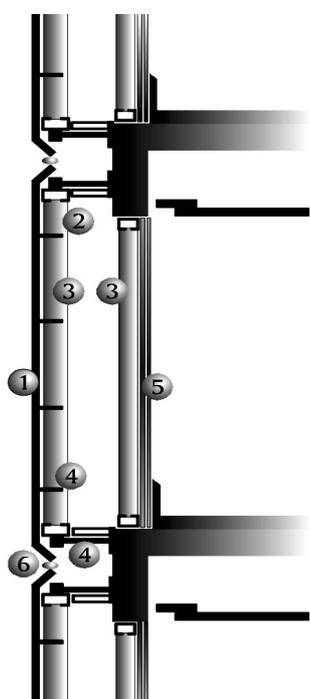
#### 4.5 Desempenho dos painéis de GRC

Nesta dissertação adota-se, como método de avaliação, a análise de dados obtidos mediante bibliografia especializada, entidades de ensino e pesquisas que tenham realizado ensaios de desempenho ou, ainda, através de dados fornecidos por fabricantes. Os critérios de desempenho no *Quadro 2.10* também fornecem subsídios para a adequação do desempenho

em painéis de GRC. A metodologia de avaliação de desempenho é similar à apresentada no *Capítulo 2* no qual são apresentados os requisitos de **segurança, habitabilidade e durabilidade**.

Analogamente aos painéis de concreto, o desempenho das juntas é fundamental para o atendimento dos requisitos de desempenho, e a eficiência das ligações dos painéis de GRC à estrutura principal da edificação é avaliada como parte do requisito de segurança.

Além disso, faz-se necessário o controle da qualidade nos processos de fabricação do GRC e aspectos de projeto na configuração de painel GRC mais utilizada internacionalmente, em que o paramento externo em GRC é complementado por enrijecimento metálico leve, isolamento e gesso acartonado ou madeira como vedação interna. A Figura 4.20 apresenta as principais funções dos sub-componentes do painel de GRC enrijecido por uma estrutura metálica leve para o atendimento aos requisitos de segurança, habitabilidade e durabilidade.



1. *Face externa*, que deve ter resistência a vento e a impacto e deformação compatível com a da estrutura de enrijecimento, esquadrias e revestimentos aplicados, além de proteger o interior da ação da água e da radiação solar;
2. *Estrutura enrijecedora*, que serve, ainda, de ponte de montagem. O dimensionamento é definido pelo rigor das condições de exposição e pela massa e dimensão dos componentes. Conforme o nível de isolamento necessário, os paramentos podem ser enrijecidos por estruturas independentes, gerando uma descontinuidade de fluxos de calor e ondas sonoras;
3. *Camadas de isolamento térmico e acústico; barreiras de vapor, em situações com risco de condensação intersticial; e membranas impermeabilizantes* posicionadas entre os paramentos externo e interno;
4. *Sistema de fixação*, que inclui as *ancoragens de ligação* do paramento externo ao enrijecimento e os *conectores* do enrijecimento à estrutura do edifício;
5. *Face interna*<sup>41</sup>;
6. *Juntas* preenchidas com selantes elastoméricos, que acomodam a variação geométrica dos componentes e preservam a estanqueidade dos encontros entre componentes ou materiais diferentes.

**Figura 4.20:** Sub-componentes do sistema de vedação dos painéis de GRC mais utilizados (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

<sup>41</sup> A face interna pode ser em painel de gesso acartonado.

As formas mais efetivas de controle de efeito das variações dimensionais dos painéis são a limitação da área superficial dos componentes, utilização de juntas flexíveis, emprego de ancoragens flexíveis para transmitir os esforços do GRC para a estrutura de enrijecimento e a seleção criteriosa dos revestimentos empregados, que devem apresentar deformação próxima à do compósito. Esses cuidados também são necessários para a garantia da segurança estrutural, estanqueidade e conseqüentemente a durabilidade do sistema de vedação em painéis de GRC.

#### 4.5.1 Segurança

As exigências de **segurança estrutural** determinam o teor de fibras do compósito e o dimensionamento da camada de GRC. O fechamento em painéis de GRC caracteriza-se por tecnologias de sistemas leves multi-camada, que promove a especificação das diferentes partes que constituem a vedação externa para a garantia da segurança estrutural.

Nesse sentido, além dos critérios de desempenho de segurança estrutural para os componentes da vedação, sistema de fixação e juntas, expostos no *Quadro 2.4*, são necessários os critérios para a **estrutura de enrijecimento**, responsável pela conexão do painel à estrutura principal, e para as **ancoragens**, responsáveis pela ligação dos painéis de GRC à estrutura de enrijecimento (Quadro 4.7).

Para o atendimento desse requisito, as características do sistema também são definidas e o dimensionamento do painel de GRC é baseado na necessidade de suportar, principalmente, o carregamento causado pela ação do vento (Quadro 4.8), já que os painéis de GRC não possuem função estrutural (BROOKES, 1998).

A pressão do vento incidente nos painéis de GRC varia com a velocidade do vento regional, com as características do contexto e com a posição do painel na fachada e aumenta com a altura e a proximidade das arestas da edificação.

Além disso, a eficiência do sistema de fixação dos painéis é fundamental para a segurança estrutural por transmitir as cargas do painel para a estrutura e, ainda, permitir acomodações provenientes de deformações elásticas e permanentes dos elementos estruturais, bem como das juntas que devem acomodar toda a movimentação dos painéis.

**Quadro 4.7: Critérios sugeridos para vedação externa em painéis de GRC (a partir de LNEC, 1974; MITIDIERI, 1998; SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

Item do sistema de vedação em GRC		Critérios sugeridos
<b>Paramento externo</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>para cargas horizontais distribuídas uniformemente (vento) considerar o dobro para o valor de deformação horizontal (<math>d_h</math>) sugerido no <i>Quadro 2.4 (Capítulo 2)</i>.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>impacto externo de corpo duro – critérios sugeridos no <i>Quadro 2.4 (Capítulo 2)</i>.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>impacto externo de corpo mole – critérios sugeridos no <i>Quadro 2.4 (Capítulo 2)</i>.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>cargas de peças suspensas – critérios sugeridos no <i>Quadro 2.4 (Capítulo 2)</i>.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>interação com portas – critérios sugeridos no <i>Quadro 2.4 (Capítulo 2)</i>.</li> </ul>
<b>Paramento interno</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>considerar os critérios sugeridos no <i>Quadro 2.3 (Capítulo 2)</i>.</li> </ul>
<b>Estrutura de enrijecimento</b>		<b>Impactos de corpo mole</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>60J, choques de abalo (10 impactos sucessivos), sem dano.</li> <li>1000J, sem deformação permanente, perfuração ou arrancamento do paramento externo e sem deterioração do paramento interno.</li> </ul>
<b>Fixações</b>	Resistência	<ul style="list-style-type: none"> <li>deve resistir aos esforços de tração, compressão, flexão e cisalhamento impostos pelo peso próprio dos painéis, cargas de vento e demais solicitações sem apresentar ruptura ou afrouxamento capaz de induzir vibrações não previstas. Estas solicitações devem ser previstas pelo projetista para a definição de critérios.</li> </ul>
	Possibilidade de ajuste	<ul style="list-style-type: none"> <li>fixações devem permitir folga para acomodar a deformação da estrutura não inferior a 1/300 do vão.</li> </ul>
	Aderência	<ul style="list-style-type: none"> <li>painéis devem suportar as solicitações sem desprenderem-se das fixações e sem apresentarem danos na região da vinculação que possam comprometer a segurança com base em critérios definidos pelo projetista.</li> </ul>
<b>Ancoragens</b>	Flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>devem ter efetividade e serem suficientemente rígidas para transmitirem esforços sem restringir excessivamente a movimentação das peças com base em critérios definidos pelo projetista.</li> </ul>
<b>juntas</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>devem acomodar toda a movimentação dos painéis sem deslocamento. O dimensionamento é definido pelo projetista em função das solicitações e do tipo do selante utilizado</li> </ul>

Quadro 4.8: Características das dimensões do painel de GRC à pressão do vento (BROOKES, 1998).

Comprimento do painel	Espessura mínima requerida do painel à pressão do vento		
	0.5 kN/m <sup>2</sup>	1.0 kN/m <sup>2</sup>	1.5 kN/m <sup>2</sup>
0.5 m	4 mm	6 mm	7 mm
1.0 m	8 mm	11 mm	14 mm
1.5 m	12 mm	17 mm	*
2.0 m	16 mm	*	*

\* Recomenda-se a utilização de painéis sanduíche.

Semelhante aos painéis de concreto, os materiais constituintes do GRC são incombustíveis, conferindo ao material um excelente desempenho à **reação ao fogo**.

Em termos de **resistência ao fogo**, é possível que o sistema em painéis de GRC chegue até duas horas, conforme as características de detalhamento e dimensionamento do sistema (PCI, 1994; CIRIA, 1992b; BROOKES, 1998).

A seleção da espessura do paramento externo, do tipo do paramento interno, da largura da junta e profundidade de fibra cerâmica, juntamente com a espessura de material isolante na cavidade entre os paramentos da fachada, é fundamental para o atendimento do requisito de **segurança contra fogo** (Figura 4.21 e Quadro 4.9).

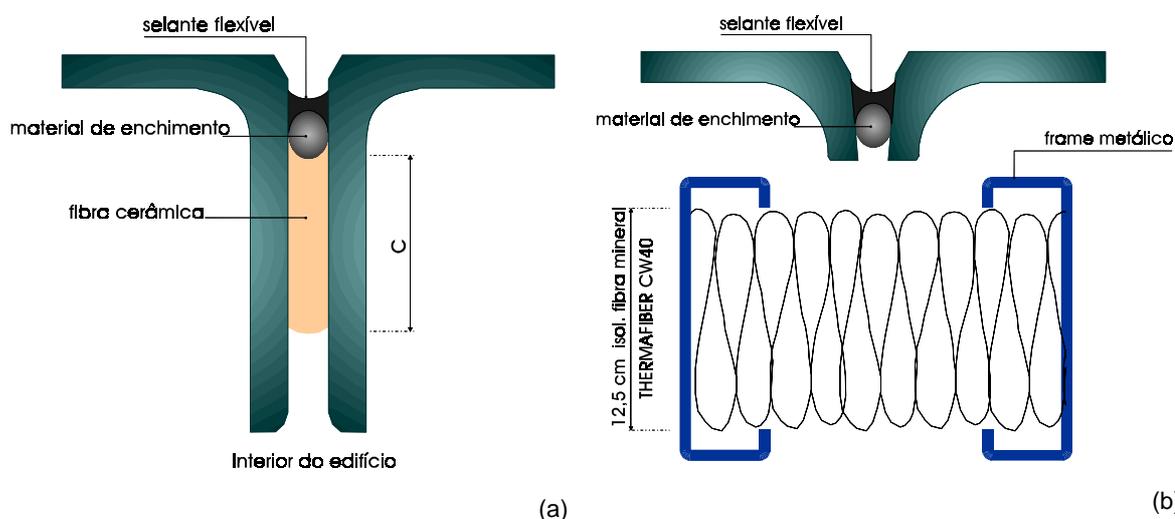


Figura 4.21: Detalhes das juntas e do isolamento em painéis de GRC segundo o nível de proteção contra incêndio (PCI, 1994).

**Quadro 4.9: Resistência ao fogo de sistemas de painéis de GRC com isolamento 12,5 cm em fibra mineral – TFB<sup>42</sup> (PCI, 1994; SILVA, 1998<sub>b</sub>).**

Resistência ao fogo	Face externa	Face interna	Espessura total
2 horas	10 mm de GRC, bordas laterais 152 mm	16 mm GWB-C	187 mm
	13 mm de GRC, bordas laterais 38 mm	2 placas de 13 mm GWB-C*	165 mm
	13 mm de GRC**, bordas laterais 38 mm	2 placas de 13 mm GWB-X*	229 mm
1 hora	13 mm de GRC, bordas laterais 12 mm	16 mm GWB-C	156 mm
Resistência ao fogo	Largura da junta	Profundidade da fibra cerâmica	
2 horas	9 mm	19 mm	
	25 mm	57 mm	
1 hora	9 mm	13 mm	
	25 mm	25 mm	
*As designações GWB-C e GWB-X referem-se a placas de gesso tipo walboard.			
**Contém 5% de polímero termoplástico em volume.			

#### 4.5.2 Habitabilidade

Sob condições atmosféricas normais, o GRC pode ser considerado um material de baixa permeabilidade ao ar e à água. Painéis de GRC com espessura mínima de 10 mm tendem a absorver e distribuir a água uniformemente por toda a superfície, sem que sejam observados sinais de umidade no verso do painel submetido a simulação de chuva com vento a 47m/s (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; PCI, 1994).

A garantia da **estanqueidade** ao ar e à água é obtida pela vedação das juntas. As juntas mais utilizadas em painéis de GRC são as juntas simples preenchidas com selantes elastoméricos. Em situações críticas de exposição, é possível a utilização de juntas duplas que exigem abas laterais maiores em GRC (Figura 4.22a) ou, ainda, a utilização de painéis com saliências ao longo das juntas verticais que ajudam a interceptar o fluxo de água antes de chegar na superfície da junta (Figura 4.22b) (SILVA, 1998).

<sup>42</sup> TFB – THERMAFIBER CW40, marca registrada da United Gypsum.

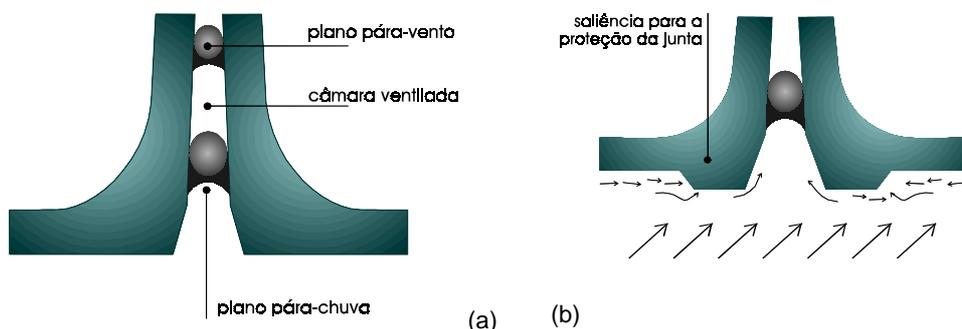


Figura 4.22: (a) sistema de selagem de juntas duplas; (b) saliência na borda do painel para interceptar o fluxo da água da chuva (SILVA, 1998<sub>b</sub>).

Como em qualquer situação, a redução e/ou isolamento termo-acústica está relacionada com a densidade superficial da vedação. Em sistemas de fechamentos com painéis de GRC, o paramento externo não conta com características termo-acústicas vantajosas, em função da pequena densidade superficial<sup>43</sup>, transferindo às juntas e, principalmente, ao material isolante o papel de melhorar o **conforto termo-acústico** ou reduzir os problemas associados à baixa densidade superficial do paramento externo.

A transmitância térmica do GRC com densidade normal de  $20 \text{ kg/m}^2$ , geralmente, varia de  $0.5 - 1.0 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  (CIRIA, 1992<sub>b</sub>). Adotando, para o sistema de fechamento, o paramento externo em painéis de GRC com espessura de 15 mm e o paramento interno em painéis de gesso acartonado com 10 mm de espessura, tem-se a resistência térmica do paramento externo igual a  $0.015 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  e do paramento interno igual a  $0.0625 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  (SILVA, 1998<sub>b</sub>). O atendimento dos valores mínimos de conforto térmico sugeridos no *Quadro 2.10* ( $0,7 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  – fachadas sul e,  $0,9 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  – fachadas norte leste e oeste) dependeria da utilização de lã de vidro com resistência térmica igual a  $0.04 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , na cavidade entre os paramentos externos e internos do sistema, com espessura de 18 mm para o atendimento ao critério  $0,7 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  e com espessura de 26 mm para o atendimento ao critério de  $0,9 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . Na configuração completa do sistema de vedação em painéis de GRC, utiliza-se a lã de vidro que, além de ser uma barreira contra o fogo, é um excelente absorvente acústico. Nesse sentido, o sistema de painéis de GRC possui uma redução sonora na faixa de 20 a 40 dB(A), atendendo satisfatoriamente o critério de conforto acústico sugerido no *Quadro 2.10* (CIRIA, 1992<sub>b</sub>; BROOKES, 1998).

<sup>43</sup> A densidade superficial de painéis de GRC com 10 mm é de  $20 \text{ kg/m}^2$  (BROOKES, 1998).

### 4.5.3 Durabilidade

As patologias em painéis GRC decorrem do envelhecimento do GRC e de sua incapacidade de suportar, com o passar do tempo, às restrições impostas à sua livre movimentação. O envelhecimento vem sendo, principalmente, atribuído a incompatibilidade química entre as fibras e a matriz de cimento através do ataque hidroxílico sobre as fibras pela elevada alcalinidade das matrizes *Portland*, que já vem sendo atenuado por desenvolvimento de cimentos compatíveis com o reforço da fibra de vidro E e a densificação da matriz resultante da hidratação contínua e carbonatação do cimento *Portland*, que aumenta a aderência das fibras e reduz a sua capacidade de escorregamento em relação à matriz, comprometendo a tenacidade do material (AGOPYAN; JOHN, 2000; OLIVEIRA; ANTUNES, 2000).

Com o envelhecimento, perde-se o benefício trazido pelo reforço das fibras na resistência a impacto, à tração na flexão (propriedades mecânicas) que estão relacionados com as condições ambientais. A fissuração decorrente prejudica a estanqueidade que influencia o desempenho termo-acústico e a durabilidade do sistema de vedação. Além disso, soma-se a incompatibilidade física do GRC, resultante de decisões inadequadas de projeto: especificação de placas muito finas, revestimentos rígidos, sistemas de fixações e dimensionamento das juntas. Esses são fatores importantes no que diz respeito ao excesso de rigidez do conjunto, quando não considerados no projeto os ciclos de expansão/contração induzidos por gradientes térmicos entre as partes do GRC e deformações excessivas entre os painéis e a estrutura da edificação.

A frequência de manutenção faz-se necessária para conservação das propriedades do GRC, do material utilizado nas juntas e do sistema de fixação (HARRISON & VEKEY, 1998). Esse procedimento somado ao reparo e substituição atendem ao nível de exigência de durabilidade sugerido no *Quadro 2.10*, apenas para países de clima frio e seco (HANSON *et al.*, 1990).

A falta de dados de envelhecimento natural do GRC induz a utilização de ensaio de envelhecimento proposto por LITHERLAND *et al.*(1981) para a previsão de durabilidade do compósito (SILVA, 1998<sub>b</sub>). Sendo que os resultados de durabilidade de compósitos com fibra de vidro AR publicados por LITHERLAND *et al.*(1981) mostram que a perda das propriedades mecânicas do compósito no envelhecimento acelerado e no envelhecimento em

condições reais de utilização têm a mesma causa, ou seja o envelhecimento é determinado pela temperatura<sup>44</sup>.

Para países de clima quente e úmido, pelo regime de chuvas e pelo elevado teor de umidade relativa atmosférica, decidiu-se propor um novo tipo de ensaio com o intuito de simular esse efeito. Nesse caso, adota-se o envelhecimento em câmara com vapor de água aquecido, permitindo avaliar corretamente a influência dessas características na degradação do compósito, visto que as moléculas de vapor são capazes de atingir espaços porosos de tamanho inferior àqueles atingidos pela água em estado líquido, dando um aspecto mais agressivo ao ensaio. Futuramente, isto possibilitará a previsão de durabilidade do material com maior grau de confiabilidade para países de clima quente e úmido (OLIVEIRA; ANTUNES, 2000). Para essas situações, como no caso do Brasil, devido a falta de dados de envelhecimento natural, a vida útil de painéis de GRC, necessariamente, dependeria de adequações no plano de manutenção e nos critérios de desempenho apresentados no *Quadro 2.10*.

#### **4.6 Considerações sobre o capítulo**

Diante de um quadro caracterizado pela carência de alternativas de vedações racionalizadas, os painéis GRC surgem como uma solução interessante, já que combinam vantagens da pré-fabricação com a leveza, grande flexibilidade de formas e níveis de desempenho ajustáveis a diferentes condições de exposição e exigências dos usuários.

O método de produção utilizado pelo fabricante nacional é a projeção manual. A projeção automática estaria reservada para uma etapa posterior, quando estivesse consolidada a demanda por produtos padronizados.

O GRC é um material durável em ambientes relativamente secos. No entanto, em climas quentes e úmidos como o do Brasil, os mecanismos de degradação do compósito levam a uma perda progressiva de resistência mecânica e ductilidade que, provavelmente, reduziria a vida útil dos componentes a níveis inaceitáveis.

---

<sup>44</sup> O mecanismo é potencializado em componentes empregados em climas muito quentes e úmidos,. Dada a pequena espessura dos componentes, eles sofrem rápidas variações dimensionais devido a variações de temperatura e umidade (AGOPYAN, JOHN, 2000; OLIVEIRA, ANTUNES, 2000).

Estão sendo realizadas pesquisas, através da modificação do tratamento superficial das fibras e do desenvolvimento de matrizes alternativas, compatíveis com as fibras de vidro, com vistas ao aumento de durabilidade do compósito em ambientes críticos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existe uma tendência internacional rumo à utilização de construção seca e montagem de fachadas e divisórias internas, que, no caso brasileiro, necessariamente passará por um período de adaptação, uma vez que esses sistemas exigem maior precisão da obra executada *in situ*, mudança na referência dimensional do processo construtivo e, principalmente, requerem compatibilização dimensional e funcional com os demais subsistemas construtivos.

Observa-se que ainda há uma disponibilização parcial das soluções oferecidas pelos diversos sistemas de vedações racionalizadas. A falta de familiarização e domínio de tecnologias, associadas a particularidades culturais resultam em uma série de problemas de interface e de desempenho, implicando obstáculos para a implantação e desenvolvimento desses sistemas, que devem ser vencidos em um programa estratégico de transferência de tecnologia.

No exterior, nota-se um esforço intensivo de pesquisa para o desenvolvimento e aprimoramento de sistemas eficientes de vedação. Esse investimento em pesquisa é necessário para garantir qualidade e vida útil dos produtos obtidos. Extremo cuidado deve ser tomado quanto à adaptação de tecnologias importadas à realidade cultural e construtiva do país, de modo a garantir o mesmo sucesso experimentado internacionalmente e não uma seqüência de problemas que acabem por comprometer, irreversivelmente, a imagem técnica desses sistemas construtivos racionalizados e o desempenho das vedações e do ambiente construído.

A principal característica da construção industrializada é a determinação de cada passo do processo construtivo ainda na fase de projeto, de modo a evitar qualquer alteração na obra em andamento. Nesse sentido, a racionalização construtiva só pode ser alcançada quando as ações são planejadas desde o momento da concepção do empreendimento.

O projeto de vedação vertical é um instrumento para a eficiência da coordenação dos projetos, por garantir a solução e detalhamento das interfaces com os demais subsistemas, bem como a garantia do desempenho projetado. Entretanto, para que os projetos sejam seguidos fielmente e concretizados no canteiro, a mão-de-obra utilizada deve ser especializada. Neste momento, ressalta-se a necessidade imprescindível de treinamento da mão-de-obra.

A avaliação de desempenho pode ser aplicada com eficiência para seleção de tecnologia, diante da variedade disponível de materiais e técnicas executivas de vedações e, ao mesmo tempo, mostrar como problemas e patologias podem ser evitados. Com relação ao requisito de segurança, a avaliação de desempenho é essencial, pois impõe limites de segurança e

utilização em função das condições de exposição e uso da edificação definidas em projeto e, em particular, do subsistema vedações verticais. O mesmo se reflete no requisito de habitabilidade, principalmente pela diversidade climática do Brasil, que irá determinar critérios de conforto adequados às condições de exposição e exigências dos usuários. No que diz respeito à durabilidade, a vida útil estimada da edificação será ditada pela vida útil de seus vários componentes, pelo controle da qualidade do processo construtivo e pelo programa de manutenção previsto em projeto.

Apesar da necessidade e importância da análise de desempenho, ainda não existem documentos normativos, em nível nacional e internacional, que contemplem todos os requisitos e critérios de desempenho apresentados nesta dissertação, principalmente, para novos produtos e tecnologias construtivas. Nota-se que as pesquisas nessa área giram em torno de Aprovações Técnicas, Institutos de Pesquisas e Universidades que atuam subsidiando a homologação de produtos e tecnologias inovadoras fundamentadas no conceito e na avaliação de desempenho.

Os painéis de concreto têm vantagens importantes, principalmente, no que diz respeito a sua fabricação e são tradicionalmente empregados em edifícios de uso industrial. Porém, a redução dos espaços de manobra nos canteiros e a relativa limitação estética fortalecem uma tendência de utilização de vedações leves.

Uma outra tendência internacional no campo das vedações, intrinsecamente relacionada ao emprego crescente de sistemas leves de fachada, é a utilização de painéis de GRC, tecnologia que combina as vantagens da pré-fabricação com leveza, grande flexibilidade de formas e níveis de desempenho ajustáveis a diferentes condições de exposição e exigências dos usuários.

Ambas as tecnologias se adaptam perfeitamente a edifícios com estruturas metálicas pelo alto nível de industrialização e por acompanharem a velocidade de execução. No caso de edifícios com estruturas metálicas é preferível que o fechamento exerça apenas a função de vedação. Nesse sentido, os painéis de concreto e os painéis de GRC, basicamente, suportam a carga do seu peso próprio enquanto que o carregamento causado por cargas de vento é transferido principalmente para o sistema de fixação. Além disso, o sistema de vedação está sujeito a movimentações higrotérmicas, que impõe solicitações nas fixações e nas juntas, que devem permitir a contração e expansão dos painéis.

Portanto, o sistema de fixação e as juntas representam um aspecto crítico em qualquer sistema de vedação vertical em painéis pré-fabricados. O desempenho das juntas é essencial para a garantia da segurança estrutural, a resistência ao fogo, o isolamento térmico e acústico, a durabilidade do conjunto e, principalmente, a estanqueidade, visto que as juntas verticais tendem a canalizar a água da chuva. A eficiência das ligações dos painéis à estrutura é fundamental para a garantia da segurança estrutural.

O projeto é determinante na durabilidade de vedações verticais em painéis pré-fabricados. Algumas das patologias desses painéis estão relacionadas a deficiências na consideração de aspectos de *qualidade do projeto* abrangendo a especificação de materiais compatíveis entre si, o dimensionamento correto das juntas e a flexibilidade das fixações; *qualidade de execução* e *qualidade de manutenção*. Esses aspectos, quando considerados nas etapas do planejamento, projeto e execução são essenciais para a garantia do desempenho global da edificação.

Esta pesquisa não esgota todos os aspectos relevantes sobre a avaliação de desempenho de sistemas racionalizados para vedações de edifícios com estruturas metálicas, dada a complexidade desse assunto, sugerindo-se, então, algumas linhas para a continuidade da pesquisa:

- continuidade de pesquisas relacionadas com avaliação de desempenho, através da construção de uma base normativa nacional com ênfase em requisitos e critérios de desempenho para vedações internas e externas e na consideração de aspectos ambientais regionais.
- utilização de modelos e métodos de simulação para avaliação de conforto acústico, térmico, durabilidade e projeção de vida útil.
- no que diz respeito aos painéis de GRC, pesquisas voltadas à durabilidade do compósito em ambiente quente e úmido, através do desenvolvimento de matrizes cimentícias para aumentar a vida útil.
- desenvolvimento de junta aberta de drenagem para adoção no projeto de painéis de GRC.
- no que diz respeito aos painéis de concreto, pesquisas para reduzir a densidade superficial desses painéis.

- sistemas de proteção superficial dos painéis de concretos e GRC para aumento da vida útil.
- simulação e modelagem de juntas e fixações para painéis de concreto e GRC.
- melhorar a eficiência dos painéis através do processo construtivo onde é estabelecida a continuidade das juntas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, José Vanderlei de, KATAR, José Eduardo. Produção de peças pré-moldadas de concreto. 2º Ed. Holdercim Brasil S. A., 1999.

AGOPYAN, V., JOHN, V. Introdução a materiais reforçados com fibras E a tecnologia de CRV. **In:** Simpósio Internacional – Componentes pré-moldados em cimento Reforçado com Fibras de Vidro - CRV. São Paulo: EPUSP, 2000 (cd).

AKUTSU, Maria, VITTORINO, Fúlvio. A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações. **Anais...** Salvador, Faculdade de Arquitetura, 1997. p. 147 – 151.

ALI, M.A. *et al.* **Properties of glass fiber cement:** the effect of fiber length and content. BRE Current Paper 94/75. Garston, Building Research Establishment, Oct. 1975. 8 pp.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard practice for use of joint sealant. **ASTM C 1193.** Philadelphia, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method and cohesion of elastomeric joints sealant under cyclic movement. **ASTM C719.** Philadelphia, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard specification for pigments for integrally colored concrete. **ASTM C 979.** Philadelphia, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials. **ASTM E 662.** Philadelphia, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for surface flammability of materials using a radiant heat energy source. **ASTM E 162.** Philadelphia, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for behavior of materials in a vertical tube furnace at 750°C. **ASTM E 136.** Philadelphia, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for field determination of water penetration of installed exterior windows, curtain walls, and doors by uniform cyclic static air pressure difference. **ASTM E 1105.** Philadelphia, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for fire tests of building construction and materials. **ASTM E 119.** Philadelphia, 1998.

ANDRIOLO, F.R. **Construções de concreto:** Manual de prática para controle e execução. São Paulo: Pini, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Materiais de construção: determinação da propagação superficial de chamas pelo método do painel radiante; método de ensaio. **NBR 9.442**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade: procedimento. **NBR 10.151**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos. **NBR 14.432**. Rio de Janeiro, 2000.

BALAGUER, C. *et al.* Evaluation and comparative study of robotics vs. Manual spraying of GRC panels. **In:** Automatization and Robotics in Construction XII. **Proceedings**. E. Budny, A. McCrea, K. Szymansky (Editors), 1995. p. 489 - 497.

BALAGUER, C. *et al.* Robotized system of GRC panels. **In:** Automatization and Robotics in Construction X. **Proceedings**. G. H. Waston, R. L. Tucker and J. K. Walters (Editors), 1993. p. 165 - 171.

BALAGURU, P.N., SHAH, S.P. Fiber reinforced cement composites. New York, Mc Graw Hill International Editions, 1992. p. 311-362.

BÁRING, João G. de Azevedo. Isolação sonora de fachadas. **In:** Tecnologia de edificações/projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988. p. 425- 428.

BARROS, M.M.S.B. O desafio da implantação de inovações tecnológicas no sistema produtivo das empresas construtoras. **In:** Tecnologia e gestão na produção de edifícios: seminário vedações verticais. **Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>a</sub>. p. 249 – 285.

BARROS, M.M.S.B. O processo de produção das alvenarias racionalizadas. **In:** Tecnologia e gestão na produção de edifícios: seminário vedações verticais. **Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>b</sub>. p. 21 – 48.

BARTH, Fernando. Design de componentes e paginação de fachadas pré-fabricadas em CRV. **In:** Simpósio Internacional – Componentes pré-moldados em cimento Reforçado com Fibras de Vidro - CRV. São Paulo: EPUSP, 2000 (cd).

BAUER, E. **Resistência à penetração de chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos:** Uma análise de desempenho. Porto Alegre, UFRGS. 1987. 168 p. Dissertação (Mestrado).

BENNETT Jr., W.B. Is mass production of GFRC products the next step? **PCI Journal**, v.33, n.3, p. 58-62, May/June 1988.

BENTUR, A., MINDESS, S. Fiber Reinforced Cementitious Composites. London, Elsevier Applied Science, 1990. 449 p.

BERGSTRÖM, S.G., GRAM, H.E. Durability of alkali sensitive fibers in concrete. **The international journal of cement composites and lightweight concrete**, v. 6, n°2, p. 75 – 80, May/1984.

BERTO, A.F. Resistência ao fogo. **In: Tecnologia de Edificações**. São Paulo, Pini/IPT. 1988. p. 361 – 364.

BLACHÉRE, G. **Saber construir: Habitabilidad, durabilidad, economia de los edificios**. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1978. p. 11-99.

BLANC, A., McEVOY, M., PLANK, R. **Architecture and construction in steel**. London: E & FN spon, 1993. p.399 – 409.

BROOKES, A.J. **Cladding of buildings**. 3° edition, London: E & FN Spon, 1998. 180 p.

CARDOSO, F.F. A gestão da produção de vedações verticais: Alternativas para a mudança necessária. **In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998. p. 187 – 220.

CARNEIRO, Cláudia de M. O papel do projeto arquitetônico na racionalização do consumo de energia elétrica na edificação. **In: Tecnologia de edificações/projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha**. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988. p. 503 – 506.

Cem-FIL INTERNATIONAL LTD. **Cem-FIL News**, n° 47, 1994. 8p.

Cem-FIL INTERNATIONAL LTD. **Cem-FIL Technical Data**. Merseyside, 1996. 6 p.

CHEW, Michael Y. L., IY, Lee Der. Elastic recovery of sealant. **Building and Environmental** – Elsevier Science Ltd., Great Britain, vol. 32, n° 3, p. 187 - 193, 1997.

COLLEPARDI, M. A durabilidade em questão. **Revista Técnica**, São Paulo, n.º 38, p. 13 –15, Jan./Fev. 1999.

COMINO ALMENARA, P.I. EL GRC – Material compuesto de matriz inorganica reforzado com fibras de vidro AR. **In: Simpósio Internacional – Componentes pré-moldados em cimento Reforçado com Fibras de Vidro – CRV**. São Paulo: EPUSP, 2000 (cd).

CONSEIL INTERNATIONAL DU BATIMENT POUR LA RECHERCHE LÈTUDE ET LA DOCUMENTATION – CIB Report. **Working with the performance approach in building**. Publication 64. Rotterdam. 1982. 30 p.

CONSEIL INTERNATIONAL DU BATIMENT POUR LA RECHERCHE LÈTUDE ET LA DOCUMENTATION – CIB. **Les Tendances Techniques Du Batment Dans Le Monde**. Paris: AUDICOM Paris, 1989. 96 p.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA. **Wall technology: Performance requirements**. Special publication 87. London: CIRIA, 1992<sub>a</sub>. Volume A.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA. **Wall technology:** Large lightweight units on framed buildings. Special publication 87. London: CIRIA, 1992<sub>b</sub>. Volume D.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA. **Wall technology:** Large heavy units on framed buildings and in-situ concrete. Special publication 87. London: CIRIA, 1992<sub>c</sub>. Volume E.

CTE, *et al.* **Empacotando paredes.** [CD-ROM]. Versão 1.0. Concepção, gerenciamento e produção: Frigieri & Szlak. São Paulo: VIDEOLAR Industria Brasileira, 1998, 1 CD-ROM.

DAWSON, Susan. **Cast in Concrete:** Reconstructed stone and precast concrete – A guide for architects. London: Architectural Cladding Association, 1995. 99 p.

DORRIS, Virginia K. Concrete into stone. **Architecture**, July, 1993, p. 107- 113.

FÉDÉRATION INTERNACIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE – FIP. **Prefabricated thin-walled concrete units:** State of art report. London, Thomas Telford Ltd., 1984. 33 p.

FERREIRA, OSCAR L. O uso adequado do aço e sua contribuição na racionalização da construção. **In:** VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente construído – Qualidade no processo construtivo. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. Vol. I, p. 313-320.

FRANCO, L.S. O desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais. **In:** Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. **Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>a</sub>. p. 95 – 112.

FRANCO, L.S. O projeto das vedações verticais: características e importância para a racionalização do processo de produção. **In:** Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. **Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>b</sub>. p. 221 – 236.

FREEDMAN, Sidney. Corrosion Resistance of Reinforcement in Architectural Precast Concrete. **PCI Journal**, Jan./Feb. 1999. p. 12 –19.

GLASSFIBRE REINFORCED CEMENT ASSOCIATION – GRCA. **GRC Today.** Wigan, The Glassfibre Reinforced Cement Association, 1995. 15 pp.

GORGOLEWSKI, Mark. **The role of steel in environmentally responsible buildings.** Berkshire, The Steel Construction Institute – SCI Publication 174, 1999. 45 p.

HANNANT, D.J. **Fiber Cements and Fiber Concrete.** New York, John Wiley & Sons, Ltd., 1978. 219 p.

HANSON, N.W. *et al.* Manufacture and installation of GRC facades. **In:** Thin section-fiber reinforced concrete and ferrocement. ACI Special Publication 124. Detroit, American concrete Institute, 1990. p. 183 – 213.

HARRIMAN, Marc S. Breaking the mold. **Architecture**, Jan., 1991, p. 77- 83.

HARRISON, H.W., VEKEY R. C. de. **Walls, windows and doors: Performance, diagnosis, maintenance, repair and the avoidance of defects.** London: BRE – Building Research Establishment, 1998. 302 p.

HILLS, D.L. **Premixed glass fiber reinforced cement.** BRE Current Paper 65/75. Garston, Building Research Station, July 1975. 4 p.

HUTCHINSON, A.R., PAGLIUCA, A., WOOLMAN, R. Sealing and resealing of joints in buildings. **Construction and Buildings Materials**, Great Britain, vol. 9, n° 6, p. 379 – 387, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.** São Paulo: IPT, 1998. 84 p.

INSTITUTO EUVALDO LODI - IEL/ES. **Análise da cadeia de valor da indústria de mármore e granito e construção do Espírito Santo.** Vitória, 1999. 298 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Fire resistance tests: Elements of building construction. **ISO 834.** Geneva, 1980.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Acoustic: Rating of sound insulation in buildings and building elements. Part 3: Airborne sound insulation of façade elements and façades. **ISO 713/3.** Geneva, 1982.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Buildings: Service life planning. Part 1: General principles. **ISO 6241.** Geneva, 1984.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Performance standards in building: Presentation of performance of facades made of components. **ISO 7361.** Geneva, 1986.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. Performance standards in building: Principles for their preparation and factors to be considered. **ISO CD 15686-1.** Geneva, 1997. 60 p.

KISS, Paulo. Pulmões Prediais. **Revista Técnica**, São Paulo, n.º 39, p. 36 -38, Mar/Abr. 1999<sub>a</sub>.

KISS, Paulo. Recepção a novos hóspedes. **Revista Técnica**, São Paulo, n.º 38, p. 20 – 23, Jan./Fev. 1999<sub>b</sub>.

KISS, Paulo. Tem que casar: Fechamento com painéis arquitetônicos pré-moldados são vantajosos quando há interação com outros sistemas industrializados. **Revista Técnica**, São Paulo, n.º 44, p. 20 – 23, Jan./Fev. 2000.

KONCZ, Tihamér. New technology spurs market for large panel precast concrete buildings. **PCI Journal**, Jan./Feb. 1995. p. 30 – 42.

KRUGËR, Paulo G.V. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. Ouro Preto, 2000, 112 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC. **Directivas comuns da UEAtc para a homologação de fachadas leves**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1974. 51 p. (tradução 587).

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192p.

LORDSLEEM Jr., A.C. O processo de produção das paredes maciças. **In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998. p. 49 – 66.

MAJUMDAR, A.J. **Fiber cement and concrete: A review**. BRE Current Paper 26/75. Garston, Building Research Establishment, Mar. 1975. 16 p.

MAJUMDAR, A.J., LAWS, V. **Glass-fiber reinforced cement**. Oxford, BSP Professional Books, 1991. 197 p.

MAJUMDAR, A.J., NURSE, R.W. **Glass-fiber reinforced cement**. BRE Current Paper 79/74. Garston, Building Research Establishment, Aug. 1974. 21 p.

MARETN, Brian. Worldwide application of glass-fiber reinforced cement. **In: Composite materials in building: State of the art, research and prospects. Anais...** Milano, 1990. p. 258 – 266.

MARSH, Paul. **Air and rain penetration of buildings**. First published. New York: Longman Inc., 1977. 174 p.

McDOUGLE, E.A. **GFRC**. The Construction Specified, p. 46-52, Dec. 1995.

MEDEIROS, Heloísa. Uma fábrica itinerante. **Revista Técnica**, São Paulo, n.º 22, p. 19 – 21, Maio/Jun. 1996.

MEDEIROS, J.S. O desempenho das vedações frente à ação da água. **In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998. p. 125 – 168.

METHA, P.K. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Globo, 1993. 573 p.

MITIDIARI Filho, C.V., SOUZA, Roberto de. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular: Conceituação e metodologia**. São Paulo: IPT, 1994. 5 p. Publicação IPT 2167.

MITIDIARI Filho, C.V. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: Proposições específicas à avaliação do**

desempenho estrutural. São Paulo, 1998<sub>b</sub>. 218 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

MOLLOY, H.J. Current North American GFRC technical practice and prospective future development. **In:** Symposium on Durability of Glass Fiber Reinforced Concrete. Proceedings. Chicago, Precast/Prestressed Concrete Institute, 1985. p 24 – 40.

OESTERLE, R.G. *et al.* Design considerations for GFRC facades. **In:** Thin section-fiber reinforced concrete and ferrocement. ACI Special Publication 124. Detroit, American Concrete Institute, 1990. p. 157 – 182.

OLIVEIRA, C.T.A. Água de poro de pastas de cimento de escórias. São Paulo, 2000. 162p., Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.

OLIVEIRA, C.T.A., ANTUNES, R.P.N. Novas tecnologias em CRV. **In:** Simpósio Internacional – Componentes pré-moldados em cimento Reforçado com Fibras de Vidro - CRV. São Paulo: EPUSP, 2000 (cd).

PARK, S.C. **The use of substitute materials on historic building exteriors.** U.S. Department of the interior, National Park Service. Technical Paper. Oct./1996. 2 p.

PEREZ, A.R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção de água pelas fachadas. **In:** Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988. p. 571 – 578.

PFEIFER, D.W. *et al.* Aging and cracking of composite GRFC wall panel skins on metal stud frames in the United States. **In:** Fiber Reinforced Cement and concrete – 1992. RILEM Symposium. **Proceedings.** London, RILEM, 1992. p. 933 – 953.

PIRES, Luciana Paraguassú. **Aço:** Subsídios para seu conhecimento e aplicação na arquitetura. São Paulo, 1998. 168 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos – USP.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. **Architectural Precast Concrete.** Chicago, Precast/Prestressed Concrete Institute, 1989. 340 p.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. Manual for quality control for plants and production of glass fiber reinforced concrete products. Chicago, Precast/Prestressed Concrete Institute, 1991. 168 p.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. **Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels.** Chicago, Precast/Prestressed Concrete Institute, 1994. 99 p. (Revised Edition).

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. **Innovation by design:** Glass Fiber Reinforced Concrete. Chicago, Precast/Prestressed Concrete Institute, 1995. 15 p.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. **Glass Fiber Reinforced Concrete Cladding** – Audio/Visual Slide Lecture. s.d.

PROCTOR, B.A. A review of the theory of GRC. **Cement and concrete composites**, v. 12, p. 53 – 61, 1990.

REAGO lança painéis com função vedante e estrutural. **Revista obra, planejamento e construção**, n° 86, p. 20 – 21, Dez./Jan. 1997.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. São Paulo, 1989. 321 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

SABBATINI, F.H. A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial. **In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>a</sub>. p. 01 – 20.

SABBATINI, F.H. As fissuras com origem na interação vedação estrutura. **In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>b</sub>. p. 169 – 186.

SABBATINI, F.H. O processo de produção das vedações leves de gesso acartonado. **In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: Seminário vedações verticais. Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998<sub>c</sub>. p. 67 – 94.

SCHULTZ, D.M. *et al.* **Design considerations for GFRC facade panels incorporating the steel stud/flex-anchor connection**. Skokie, Construction Technology Laboratories, 1987. 10 p. (Reprinted as part of the Proceedings of the 6<sup>th</sup> GRCA Biennial Congress – Oct. 1987).

SHARMAN, W.R. Implications of the New Zealand Building Code durability requirements. **Construction and building materials**. vol. 8, n° 4, p. 277 – 282, 1994.

SILVA, M.G. **Influência da cura térmica em pastas e argamassas de cimentos de escória de alto-forno**. São Paulo, 1998<sub>a</sub>. 232 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

SILVA, M.G., PEREIRA, T.C.A. LANA, M. **Sistemas racionalizados para vedação de estruturas metálicas: Uma visão sistêmica**. Relatório Técnico Final. Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas Mistas (NEXEM). 2001. 139 p.

SILVA, V.G. **Diretrizes para o projeto de painéis de fachada em cimento reforçado com fibras de vidro**. São Paulo, 1998<sub>b</sub>. 145 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

SILVA, V.G. **Alternativas racionalizadas para vedação de estruturas metálicas**. Vitória, 1999. /Notas de aula de curso homônimo, promovido pelo NEXEM/UFES.

SILVA, V.G. *et al.* Painéis de fachada em cimento de escória reforçados com fibras de vidro. **Revista Engenharia: Ciência & Tecnologia**. Vitória: CT/UFES, n° 6, p. 16 – 20, 1998.

SONORIS, G. Standards for design life of buildings: utilization in the design process. **Construction and building materials**. Great Britain, n° 7, p.487 – 490, 1996.

SOUZA, Roberto de. Avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. **In:** Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988. p. 529 – 532.

SOUZA, Ubiraci E.L. de. Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical. **In:** Tecnologia e gestão na produção de edifícios: seminário vedações verticais. **Anais...** São Paulo, EPUSP, 1998. p. 237 – 248.

THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE – SCI. **Connections between steel and other materials:** Interfaces. Berkshire, The Steel Construction Institute, 1992. 72 p.

TOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1989.

TRUE, G.F. Glass-fiber reinforced cement permanent formwork. **Concrete**, p. 31 – 33, Feb./1985.

WEIGLER, L. New products and their application. **Betonwerk, Fertigteil und Technik**, v. 54, p. 42 – 47, Feb./1988.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)