

PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Série " Manual de Construção em Aço"

- Galpões para usos gerais
- Ligações em estruturas metálicas
- Edifícios de pequeno porte estruturados em aço
- Alvenarias
- Painéis de vedação
- Resistência ao fogo das estruturas de aço
- Tratamento de superfície e pintura

MARISTELA GOMES DA SILVA

VANESSA GOMES DA SILVA

PAINÉIS DE VEDAÇÃO

2ª edição

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA
CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO

RIO DE JANEIRO
2004

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por quaisquer meio, sem a prévia autorização desta Entidade.

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Informações do IBS/CBCA

S586p	Silva, Maristela Gomes da Painéis de vedação / Maristela Gomes da, Vanessa Gomes da Silva. - Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003. 59p.; 29 cm. -- (Série Manual de Construção em Aço) Bibliografia ISBN 85-89819-04-3 1. Painéis de vedação 2. Painéis de concreto 3. Painéis de GRC 4. Painéis metálicos 5. Painéis de gesso acartonado I. Títulos (série) II. Silva, Vanessa Gomes da CDU 692.2 2ª edição
-------	--

1ª Edição, Janeiro 2003

2ª Edição, Agosto 2004

Instituto Brasileiro de Siderurgia / Centro Brasileiro da Construção em Aço
Av. Rio Branco, 181 / 28º Andar
20040-007 - Rio de Janeiro - RJ
e-mail: cbca@ibs.org.br
site: www.cbca-ibs.org.br

SOBRE AS AUTORAS

Maristela Gomes da Silva é Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Mestre e Doutora em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFES; Professora do Departamento de Estruturas e Edificações do Centro Tecnológico da UFES.

Vanessa Gomes da Silva é Arquiteta pela Universidade Federal do Espírito Santo e Mestre e Doutora em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Professora do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Grupo Siderúrgico e ao Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mistas - NEXEM, respectivamente, a oportunidade pela publicação e pelo financiamento do projeto de pesquisa que iniciou este trabalho. Agradecem ainda a valiosa contribuição de Arq. Tatiana Camargo, Eng. Gisele Carneiro, Eng. Raquel Lima, Eng. Marcelo Lana, a Carlos raposo e Rodrigo Machado, alunos da UFES e a Giovana Bianchi e Paula Baratella, alunas da UNICAMP .

SUMÁRIO

Capítulo 1	
Painéis pré-fabricados	07
1.1. A vedação vertical	08
Capítulo 2	
Painéis de concreto	11
2.1. Características dos painéis de concreto	13
2.2. Aspectos de produção	13
2.3. Geometria e modulação	15
2.4. Juntas	16
2.4.1 Içamento	19
2.5. Fixação	20
Capítulo 3	
Painéis de GRC	25
3.1. Características dos painéis de GRC	28
3.2. Aspectos de fabricação e de produção	30
3.2.1 Processos de produção	30
3.2.2 Formulação e propriedades típicas de painéis de GRC	32
3.2.3 Acabamentos em painéis de GRC	33
3.3. Aspectos de Projeto e de construção	34
3.3.1 Geometria e modulação	34
3.3.2 Juntas	36
3.3.3 Montagem	38
3.3.4 Fixação	38
Capítulo 4	
Painéis metálicos	41
4.1. Aspectos de fabricação	42
4.1.1 Acabamentos em painéis metálicos	45
4.2. Aspectos de projeto e de construção	47
4.2.1 Fachadas tipo 'rainscreen'	49
Capítulo 5	
Painéis de gesso acartonado	51
5.1. Aspectos de fabricação	52
5.2. Características técnicas	53
5.3. Aspectos de projeto e de construção	54
5.3.1 Montagem	54
5.3.2 Juntas e fixações	55
5.3.3 Acabamentos	56
5.4. Desempenho de vedações em gesso acartonado	56
Referências Bibliográficas	58

APRESENTAÇÃO

O emprego de estruturas metálicas em edifícios é apontado como uma das alternativas para a industrialização da construção civil por aliar velocidade, qualidade, racionalização e desenvolvimento de novos sistemas construtivos, além de retirar do canteiro de obras uma gama de atividades precárias e artesanais.

O uso de estruturas em aço, em todo o mundo, encontra-se há muito consolidado e alicerçado no desenvolvimento de sistemas eficientes de construção. No panorama nacional, contudo, a carência de tecnologias para aliar o aço à execução de vedações, lajes e divisórias internas é uma das principais dificuldades para viabilizar o emprego generalizado de construções metálicas no Brasil, pois a utilização de estruturas metálicas é muito inferior à capacidade produtiva do parque siderúrgico brasileiro.

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

Os problemas de interface e de desempenho resultantes da pouca familiarização com estes sistemas são obstáculos que devem ser vencidos através de um programa estratégico de transferência de tecnologia. É imprescindível prover treinamento da mão-de-obra e consolidar o projeto de vedação vertical como um instrumento eficiente de coordenação que garanta a solução das interfaces com os demais sub-sistemas.

As tecnologias resumidas neste manual adaptam-se perfeitamente a edifícios com estruturas metálicas, por seu alto nível de industrialização. É de se destacar, entretanto, que o emprego destas tecnologias deve ser conduzido com extremo cuidado, de modo a repetir o sucesso experimentado internacionalmente e não a provocar um sequência de problemas que comprometem irreversivelmente a imagem técnica dos sistemas construtivos.

Com base em extensa literatura, visitas técnicas e contatos com fabricantes e projetistas, este manual apresenta os aspectos de produção, projeto e montagem de painéis de concreto, de GRC (cimento reforçado com fibra de vidro), painéis metálicos e divisórias em gesso acartonado, principais alternativas para a vedação vertical de edifícios com estrutura metálica.

O setor siderúrgico, por meio do **Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA**, tem a satisfação de tornar disponível para o universo de profissionais envolvidos com o emprego do aço na construção civil, mais este manual, o quinto de uma série relacionada à construção em aço.

Centro dinâmico de serviços, com foco exclusivamente técnico e capacitado para conduzir uma política de promoção do uso do aço na construção, o CBCA está seguro de que este manual enquadra-se no objetivo de contribuir para a difusão de competência técnica e empresarial no País.

Capítulo 1

Painéis pré-fabricados

A indústria de construção civil, em todo o mundo, encontra-se em um momento claramente dedicado à busca e 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.

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 este 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.

A cultura construtiva das empresas de construção brasileiras caracteriza-se, no entanto, pela alvenaria tradicional como solução de vedação, com elevado índice de desperdício e retrabalho embutidos. Esta é uma barreira importante a ser transposta para a introdução de novos sistemas.

O interesse por outras alternativas de vedação mostrou-se pequeno até o grande impulso decorrente da introdução de procedimentos para a 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 para a racionalização de todos os subsistemas da edificação.

A construção civil nacional ainda mostra uma clara estagnação no que se refere ao emprego de sistemas racionalizados de vedação, enquanto que painéis pré-fabricados são frequentemente utilizados pela construção civil na Europa, Estados Unidos e Canadá, como solução para aliar racionalização à velocidade de produção do subsistema vedação. Considerando-se especificamente a construção de edifícios com estrutura metálica, a constatação des-

sa estagnação torna-se particularmente verdadeira.

Torna-se claro que estas alternativas industrializadas não podem ser simplesmente importadas para utilização no Brasil. Antes, a tecnologia de produção, o projeto do produto e a organização da produção devem ser consolidados e completamente integrados entre si e aos demais subsistemas que compõem a edificação, dentro de um quadro de adequação à realidade construtiva nacional.

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 exigente subsistema industrializado onde todos os problemas devem ser previamente pensados, analisados e resolvidos na elaboração do projeto.

1.1 A vedação vertical

O tradicional levantamento da alvenaria tem sido a única forma de racionalização das vedações utilizada de modo fundamentado no Brasil (BARROS, 1998b; SABBATINI, 1998a). Entretanto, para edifícios em estrutura metálica, o emprego da alvenaria tradicional ainda 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. 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.

Neste 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. Além disso, a vedação vertical é apontada como um dos pontos críticos para a implantação de medidas de racionalização da

produção de edifícios, por ser um dos principais subsistemas do edifício e por influenciar significativamente o seu desempenho final.

As suas principais funções são a compartimentação da edificação e o oferecimento, aos ambientes construídos, das 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, 1998a; SILVA, 1998). Na produção de edifícios, as vedações verticais também têm um papel importante (BARROS, 1998a; CARDOSO, 1998; SABBATINI, 1998b; CTE *et al.*, 1998), por influenciarem e serem responsáveis por algumas características, dentre as quais pode-se citar:

- Determinação de diretrizes para o planejamento e programação da execução da edificação.
- Determinação do potencial de racionalização da produção, pois possui interfaces com outros subsistemas (instalações prediais, esquadrias, revestimentos e estrutura).
- Participação como elemento estrutural (alvenaria estrutural), ou servir de travamento da estrutura de concreto armado, ou ainda servir apenas de fechamento da edificação¹.
- Profunda relação com a ocorrência de problemas patológicos.

A 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 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 apresenta as principais vantagens e as limitações de utilização de vedações pré-fabricadas em edifícios com estruturas metálicas.

Quadro 1 - Vantagens e limitações na utilização de vedações pré-fabricadas (a partir de BARROS, 1998a; FRANCO, 1998b; SABBATINI, 1998c).

Vantagens
Maior organização e limpeza no canteiro.
Redução do número de atividades realizadas no canteiro.
Facilidade no controle e menor desperdício de materiais.
Diminuição de acidentes.
Aceleração do cronograma, redução de prazo e de custo.
Facilidade de utilização de instalações embutidas e de manutenção dessas instalações.
Facilidade de introdução de isolamentos.
Eliminação ou diminuição de algumas atividades existentes no processo tradicional, tais como revestimento.
Precisão dimensional e superfícies lisas.
Possibilidade de ganho de área útil construída.

Limitações atuais
Imagem negativa de vedações pré-fabricadas junto aos usuários.
Normalização de desempenho ainda em desenvolvimento (ABNT/CB-02: edifícios habitacionais de até quatro pavimentos – parte 4: fachadas).
Necessidade de mudanças na qualidade do processo de produção dos demais subsistemas.
Necessidade de mudanças organizacionais nos processos de gestão de empreendimentos e de produção.
Dependência de profissionais habilitados em todos os níveis.
Dependência na fabricação de complementos e acessórios no Brasil.
Necessidade de interação com os outros subsistemas construtivos.
Comercialização apenas das tecnologias de vedação e não de soluções construtivas.
Necessidade de precisão dimensional (e limitação da deformação aceitável) da estrutura e dos demais subsistemas.
Utilização de painéis apenas de vedação.

1- Em edifícios com estruturas metálicas, os painéis geralmente não têm função estrutural.

Este manual apresenta as principais alternativas disponíveis de vedações racionalizadas, em escala comercial, nos mercados nacional e internacional. Estes componentes podem ser utilizados em edifícios com estruturas metálicas, principalmente pelo nível de industrialização e da velocidade de execução (quadro 2)

A partir de ampla consulta à literatura existente e de uma série de visitas técnicas rea-

lizadas nos últimos dois (dois) anos, no Brasil e no exterior, desenvolveu-se um diagnóstico dos sistemas de vedação pré-fabricados para estruturas metálicas. Recomendações para o projeto e para a produção e instalação desses painéis estão apresentados em detalhes. Espera-se que publicação semelhante a esta se dedique, em um futuro próximo, a aspectos relacionados à integração com esquadrias e com instalações prediais.

Quadro 2 - Classificação das vedações verticais pré-fabricadas (a partir de SOUZA 1998; CTE *et al.*, 1998).

Classificação		Descrição
Função	Envoltória externa	serve de proteção lateral contra ação de agentes externos.
	Divisória interna	
Técnica de execução	Acoplamento a seco	vedações montadas a seco (aparafusadas), sem uso de solidarização "molhada" (argamassa ou grout).
	Acoplamento úmido	vedações verticais montadas por solidarização com argamassa ou grout.
Mobilidade	Fixas	
	Removíveis	montadas e desmontadas com facilidade sem a sua degradação.
Densidade superficial	Leves	caracterizadas por elementos sem função estrutural e com massa específica de até 100Kg/m ³ .
	Pesadas	caracterizadas por elementos com ou sem função estrutural, e com massa específica acima de 100Kg/m ³ .
Estruturação	Estruturadas	vedações que possuem uma estrutura de suporte dos componentes da vedação (estrutura secundária)
	Auto-suporte	as que não necessitam de uma estrutura secundária.
Continuidade do plano Relação entre a continuidade (face da parede) e a distribuição dos esforços.	Modulares	a absorção dos esforços transmitidos à vedação é feita pelos elementos, isoladamente, devido à existência de juntas.
Continuidade superficial Relacionada à continuidade visual da vedação vertical.	Contínuas	
	Descontínuas	as juntas entre os componentes são aparentes.
Acabamento	Revestimento incorporado	as vedações já acabadas são posicionadas em seus lugares definitivos.
	Revestimento a posterior	vedações executadas em seus lugares definitivos e sem aplicação prévia de revestimentos.
	Sem revestimento	vedações não necessitam da aplicação de revestimentos, pois o acabamento é parte da linha de produção.

Capítulo 2

Painéis de Concreto

Os painéis de concreto foram introduzidos no mercado internacional nos anos 50, sob impulso do período de recuperação pós-guerra e do movimento modernista na arquitetura. 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, os painéis de concreto armado foram revitalizados na forma dos chamados *painéis de concreto arquitetônico*, com revestimento incorporado. O revestimento incorporado elimina custos diretos e indiretos decorrentes da posterior etapa de revestimento externo e permite maior variedade de soluções arquitetônicas (SILVA, PEREIRA, LANA, 2001). Os fabricantes nacionais que disponibilizam estas tecnologias encontram-se no estado de São Paulo.

Os painéis de concreto arquitetônico são vedações externas pesadas (densidade superficial > 100kg/m₂). Os componentes pré-fabricados podem ser planos ou podem receber nervuras para aumentar suas dimensões sem o acréscimo de espessura ou da armadura. A utilização destes painéis possui algumas vantagens e algumas desvantagens, relacionadas no quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens dos painéis de concreto. (a partir de PCI, 1989; HARRIMAN, 1991; BLANC *et al.*, 1993); BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998).

Vantagens
Vantagens econômicas devidas à possibilidade de padronização dos painéis.
Resistência ao fogo, inércia térmica e acústica, boa relação resistência/peso próprio.
Variedade de dimensões e de acabamentos.
Durabilidade compatível com vida útil de projeto, necessitando de poucas intervenções de manutenção.
Revestimentos podem ser incorporados na própria fábrica.
Possibilidade de emprego de painéis com função estrutural.
Instalação de caixilhos e/ou material de isolamento na fábrica.

Desvantagens

Alto custo, quando utilizados vários tipos de painéis, pelo custo de formas extras e o não reaproveitamento dos moldes especiais.

Grande peso, dificultando o manuseio no transporte e na execução.

Falta de normalização.

Dificuldades de manuseio/substituição devido ao peso dos componentes.

Ação dos agentes agressivos provoca manchas nos painéis.

Problemas de corrosão se não forem adotadas as devidas recomendações de projeto e produção.

As seis fotos, inseridas a seguir, ilustram aplicações de painéis de concreto arquitetônico.



Foto 1 - Boathouse em Sawyer Point, Cincinnati, Ohio (PCI, 1989).



Foto 2 - Republic Works Administrative Offices, Charleston, South Carolina (PCI, 1989).



Foto 3 - Arc de La Defense, Paris
(foto: Vanessa Gomes).



Foto 6 - Ed. Night Building, São Paulo
(foto: Ana Elisa Oriente²).

2.1 Características dos painéis de concreto

Os painéis de concreto podem ser utilizados como elemento estrutural ou como vedação. No caso de edifícios com estruturas metálicas (PCI, 1989; KONCZ, 1995; KRÜGER, 2000), eles são normalmente empregados apenas com função vedante, nas configurações:

- painéis-cortina: são painéis sem função estrutural que recobrem externamente toda a estrutura da edificação. O carregamento causado por cargas de vento e peso próprio é transferido para a estrutura principal da edificação. A principal vantagem é a sua remoção do local sem afetar a estabilidade estrutural da edificação.

- painéis de vedação: são painéis sem função estrutural fixados à estrutura principal do edifício de modo a preencher os vãos entre elementos estruturais.

2.2 Aspectos de produção

Os painéis de concreto podem ser produzidos industrialmente ou, quando há espaço e condições apropriadas, na própria obra, eliminando custos referentes ao transporte.

A mistura dos agregados constituintes do concreto é efetuada através de dosagem experimental, meticulosamente estudada, sendo necessário avaliar as qualidades e pro-



Foto 4 - Edifício em painel de concreto, La Defense, Paris
(foto: Vanessa Gomes).



Foto 5 - Shopping Center em Boston
(foto: Tatiana Camargo).

2 - Imagem originalmente publicada em BENVENGO, L. Obra de titãs. Revista AU, ano 15, n. 82, fev/mar 1999. pg. 101 -104.

priedades dos materiais em função das características e desempenho do concreto especificado em projeto. Em geral, as misturas contêm agregados com dimensão máxima característica inferior a 20mm e, no caso de componentes não revestidos, com teor de finos suficiente para garantir o acabamento superficial desejado (DAWSON, 1995; KISS, 2000_b).

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 (ANDRIOLO, 1984; METHA, 1994; FREEDMAN, 1998; ABREU, KATAR, 1999).

A escolha do material do molde é determinada pela possibilidade de reaproveitamento da fôrma, o que tem grande influência nos custos de produção, e pelas dimensões das peças, que determinam a resistência requerida da fôrma. As fôrmas de madeira são a opção de menor custo na fabricação de painéis simples, porém com menor número de reaproveitamento (entre 30 e 60 vezes). As fôrmas em aço têm custo alto, mas possibilitam uma maior precisão e podem ser utilizadas até 150 vezes. Já as fôrmas em GRP (poliéster reforçado com fibra de vidro), apesar de também possibilitarem boa precisão na modulação, são mais suscetíveis a danificações (DAWSON, 1995; BROOKES, 1998).

A desfôrma deve ser feita, no mínimo, após 16 horas do preenchimento ou até o painel adquirir resistência suficiente para os esforços que incidirão durante a desfôrma, o manuseio, o transporte e o içamento. Os painéis devem ser submetidos à cura úmida por no mínimo sete 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_a). A resistência à compressão final varia de 40 a 70 MPa.

As fotos abaixo (fotos 7 a 10) ilustram a seqüência das etapas de produção de painéis de concreto com fôrmas em madeira.



Foto 7 - Produção do molde de madeira.
(foto: Dawson, 1995)

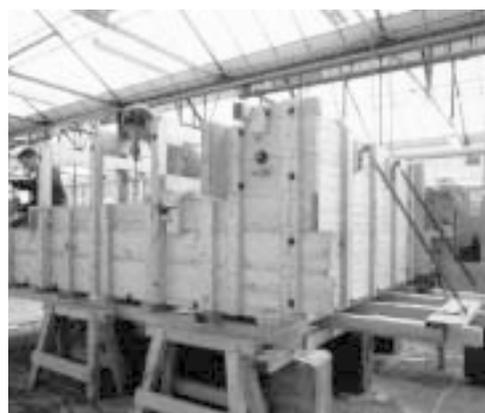


Foto 8 - Escoramento lateral para evitar empenamento lateral. (foto: Dawson, 1995)



Foto 9 - Armação do painel.
(foto: Dawson, 1995)



Foto 10 - Exposição de agregados através de banho de ácido (foto: Dawson, 1995).

Devido ao crescimento da utilização de revestimentos incorporados, os painéis de concreto arquitetônico são normalmente moldados com a *face acabada para baixo*. Nesta condição, o material de revestimento, uma camada de acabamento ou um filme texturizado é posicionado no fundo do molde, seguido de uma barreira de aderência e posterior colocação da armadura e concretagem.

O acabamento pode ser feito através de ataque ácido, com borracha própria para absorver a pasta de concreto, ou jateamento de areia, que remove irregularidades e expõe levemente o agregado (foto 11). A superfície pode também receber polimento ou incorporar revestimentos como pedras ornamentais, textura (agregado exposto), cores (concreto pigmentado), nervuras ou falsas juntas (foto 12), dispensando pintura e revestimento posterior.



Foto 11 - Agregado exposto e polido. (foto: Vanessa Gomes)



Foto 12 - Agregado exposto polido e pigmentado. (foto: Vanessa Gomes)

2.3 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. A padronização da fôrma reduz significativamente os custos de produção, pois aumenta a velocidade de produção e reduz custos operacionais, o tempo de detalhamento e confecção de moldes, riscos de erros de detalhamento e de produção. Em algumas situações, os moldes podem ser projetados para receber ajuste dimensional e atender a uma gama maior de painéis.

As condições de exposição e a tipologia da edificação alimentam a etapa de dimensionamento dos painéis, que ainda deve considerar as solicitações mecânicas, envolvendo a ação do vento, do peso próprio e os esforços durante a desfôrma e manuseio em atendimento do requisito de segurança estrutural. Além disso, o peso dos painéis define as maneiras de realizar o transporte e içamento (PCI, 1989; CIRIA, 1992^c).

As dimensões dos painéis e seu peso³ são limitados por dificuldades práticas de transporte e manuseio. A altura típica dos painéis gira entre 1,20m a 3,0m, enquanto que o comprimento pode ser até três vezes maior⁴. A espessura do painel varia de acordo com seu comprimento (quadro 4), com a zona de arma-

3 - Não deve exceder sete toneladas, para facilitar o manuseio na fabricação e montagem (BLANC *et al.*, 1993).

4 - Sempre inferior a 12m, por questões de transporte (BROOKES, 1998).

dura e com o cobrimento necessário, sendo a espessura mínima de cobrimento igual a 40mm (quadro 5) (CIRIA, 1992c; BLANC *et al.*, 1993; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998). Em painéis não estruturais, a definição da espessura do cobrimento depende:

- 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.
- da agressividade do ambiente de exposição
- da requerida resistência ao fogo.

Os painéis podem apresentar seção homogênea (painéis maciços) ou configuração sanduíche, resultante da incorporação de uma camada de material isolante entre duas placas de concreto armado para exigências especiais de desempenho termo-acústico (PCI, 1989; 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

Quadro 4 - Espessuras típicas dos painéis pré-moldados de concreto, segundo seu comprimento (a partir de DAWSON, 1995; BROOKES, 1998).

Características	BROOKES (1998)		FREEDMAN (1999)
Resistência mínima do concreto	25 MPa	30 MPa	35 MPa
Cobrimento externo (mm)	50	40	40

Quadro 5 - Variação do recobrimento externo, de acordo com a resistência do concreto*, para atender a segurança estrutural e a durabilidade do painel.

2.4 - Juntas

Os elementos e os componentes da construção estão sujeitos a *variações de temperatura*, sejam sazonais ou diárias, que resultam em ciclos de variação dimensional (dilatação ou contração) e a *mudanças higroscópicas* que também provocam variações dimensionais devido ao aumento ou diminuição do teor de umidade do material. Essas movimentações, sejam elas térmicas ou higroscópicas, causam tensões que levam ao aparecimento de fissuras que comprometem o desempenho da edificação (TOMAZ, 1989; HUTCHINSON *et al.*, 1995; HARRISON; VEKEY, 1998). As juntas têm por finalidade permitir que essas expansões e contrações ocorram sem afetar a integridade dos constituintes do sistema de vedações.

Para o desempenho adequado do sistema de vedação em painéis de concreto, é imprescindível um bom desempenho das juntas, seja em termos de estanqueidade ou de acomodação da movimentação das peças. Cabe aos projetistas considerar (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 sub-sistema e de seus componentes.
- custo de manutenção e da reposição das juntas.

As juntas constituem as linhas de separação horizontais ou verticais entre os painéis de concreto justapostos ou sobrepostos, devendo ser de alguma forma seladas.

As juntas horizontais têm função similar às pingadeiras e estão sujeitas a esforços de compressão originários do peso próprio

dos painéis. Já as juntas verticais estão mais sujeitas às intempéries e tendem a canalizar a água da chuva, exigindo maiores cuidados quanto à vedação (PCI, 1989; BAUER, 1987; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998; SILVA, 1998_b; KRÜGER, 2000).

As juntas empregadas em painéis de concreto subdividem-se em *junta aberta e drenada* ou *junta vedada*. A *junta aberta e drenada* adota o mesmo princípio de fachadas *rainscreen* (ver Capítulo 4 - Painéis Metálicos), isto é, a geometria dos encontros entre painéis é especialmente desenhada para recolher e drenar a água da chuva e complementada por uma barreira física dupla.

A junta aberta e drenada é obtida através de sobreposição de bordos horizontais complementada por sulcos verticais onde são posicionadas faixas de neoprene (figura 1) As faixas de neoprene (*baffle strips*) funcionam como uma *primeira barreira estanque* à água que mantém permanentemente protegida uma *segunda barreira que confere estanqueidade ao ar* (borracha ou espuma compressível). Orifícios de drenagem promovem a eliminação da água que eventualmente penetre na junta. No encontro de juntas horizontais e verticais, uma membrana impermeável (borracha butílica ou manta betuminada) garante a estanqueidade (MARSH, 1977; PCI, 1989; BROOKES, 1998).

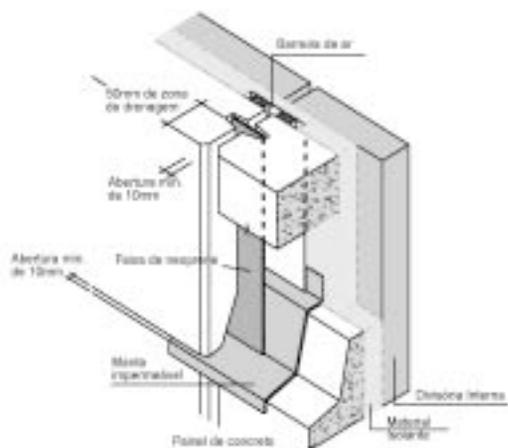


Figura 1 - Detalhe de junta aberta e drenada com faixa vertical de neoprene (*baffle strip*).

Os painéis devem ser projetados de modo que tubos de drenagem sejam previstos e colocados no molde antes da concretagem, para permitir a remoção da umidade que porventura apareça na sua face interna devido à condensação e/ou penetração de chuva. Estes drenos (figura 2) não devem ter menos de 13 mm de diâmetro interno para prevenir obstruções, sendo também recomendável projetá-los no mínimo 13 mm à frente do painel para evitar o aparecimento de manchas na superfície, ou direcioná-lo para uma junta horizontal (BROOKES, 1998).



Figura 2 - Detalhes em corte de alternativas de posições dos tubos de drenagem (*a partir de BROOKES, 1998*).

As juntas vedadas podem ser obtidas pelo emprego de selantes ou de gaxetas, em barreira simples ou dupla, como recomendado pelos fabricantes nacionais. As juntas com um selante na face externa do painel têm custo inicial baixo. Entretanto, os custos de substituição planejada do selante devem ser considerados na avaliação.

Os principais tipos de selantes (quadro 6) para uso em vedação de painéis de concreto são o polissulfeto acrílico (mono ou bi-com-

ponentes) e o silicone de baixo módulo de elasticidade (CIRIA, 1992; DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995; BROOKES, 1998).

Quadro 6 - Características dos tipos de selantes (a partir de DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995).

Selante	Comportamento	Capacidade de formação	Vida útil	Obs.
Silicone de baixo módulo	elástico	50%	25 anos	cura varia de 2 a 3 semanas
Polissulfeto mono-componente	elasto plástico	20%	20 anos	cura lenta (mais de 3 semanas)
Polissulfeto bicomponente	elasto plástico	30%	20 anos	cura rápida (1 a 2 dias), utilizado para juntas largas

Os polissulfetos acrílicos bi-componentes são mais usados porque têm boa capacidade de deformação (até 30% da largura da junta) e oferecem 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 polissulfeto acrílico mono-componente. Este tipo de selante pode ser utilizado em juntas de até 25 mm em uma única aplicação.

O selante de silicone de baixo módulo é elástico, fortemente aderente e, provavelmente, o mais durável entre todos os selantes. Este selante acomoda movimentos de, em média, 50% da largura da junta, sendo a maior largura de junta aconselhável em torno de 25mm (DAWSON, 1995; HUTCHINSON *et al.*, 1995). Uma espuma de polietileno de seção retangular ou circular (figura 3) deve ser usada para evitar a profundidade excessiva de selante e para evitar a incompatibilidade de materiais que possam causar descolamento do selante (na figura, como exemplo, a fibra cerâmica confere resistência ao fogo à região da junta).

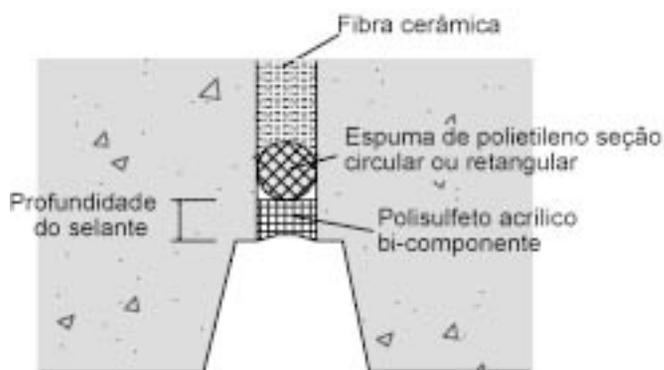


Figura 3 - Espuma de polietileno usada para corrigir a profundidade do selante.

O dimensionamento final da junta é conduzido a partir da deformação nominal prevista para os painéis e da capacidade de deformação (quadro 6) das juntas (MAF) (HUTCHINSON *et al.*, 1995).

A largura (W) é obtida através de

$$W = \frac{-\text{movimento} \leftrightarrow 100}{MAF} \begin{matrix} \swarrow +\text{movimento} \\ \searrow - \end{matrix}$$

sendo:

movimento = alteração dimensional prevista
MAF = capacidade de deformação das juntas

e a profundidade (D) é determinada através de

$$D \leq \frac{W}{2} \quad \text{para selantes elásticos (Quadro 1)}$$

$$D \leq \frac{W}{2} \quad \text{para selantes elastoplásticos}$$

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 7.

Dimensões da junta de vedação	
Para larguras até 12,7 mm	A profundidade pode ser igual à 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 12,7 mm.

Quadro 7 - Dimensões mínimas e máximas da largura e da profundidade da junta para painéis de concreto (a partir de ASTM C1193, 1991).

Os selantes das juntas garantem a estanqueidade das fachadas, sendo que esta característica depende do tipo de polímero, do detalhamento das juntas e das condições de exposição. Estes polímeros estão 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 do desempenho das juntas. Portanto, os selantes das juntas (quadro 6) precisam ser repostos com o tempo, sendo que a frequência de substituição depende do ambiente e dos agentes agressivos atuantes (PCI, 1989; DAWSON, 1995; CHEW & YI, 1997).

As juntas nunca devem "atravessar" aberturas, e devem estar completamente inseridas em uma única peça de concreto para minimizar os problemas de movimentação diferencial entre os elementos e as dificuldades de selagem (PCI, 1989; SILVA, 1998_b; PEREIRA, 2001). Embora os fabricantes de vedações continuem a usar juntas de selantes, possivelmente por serem mais fáceis de detalhar e executar, as juntas de gaxetas podem oferecer um produto de junta mais estável, particularmente quando usadas em conjunto com a barreira de ar.

A junta de gaxeta mais popular é um sistema parecido com o que é utilizado em esquadrias, porém com detalhamento próprio, especificação correta e controle durante a instalação local. As gaxetas são elementos compressíveis que, independentemente do tipo ou forma, devem ser mantidas sob compressão constante, e protegidas da ação direta das intempéries por um material de recobrimento. O neoprene é largamente utilizado como gaxeta, pois possui uma excelente estanqueidade ao vapor de água, à água, ao ar e a gases (MARSH, 1977; BROOKES, 1998).

2.4.1 - Içamento

O içamento de painéis é realizado com guias, enganchadas nos *inserts* para içamento, que são colocados ainda na fase de fabri-

cação, pois sua eficácia diminui sensivelmente se eles não estiverem precisamente perpendiculares e alinhados à superfície do painel. As fixações dos inserts para içamento são normalmente ancoragens reforçadas ou aparafusadas, em forma de elo (figura 4), de anel, uma alça de cabo de aço (figura 5) ou encaixe para gancho. O dispositivo em forma de elo é o mais confiável, porém é também o de maior custo. O método mais comum utiliza alças de cabo de aço.

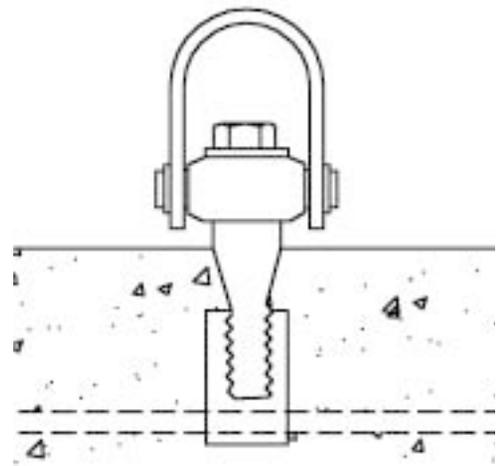


Figura 4 - *Insert* de içamento em forma de elo

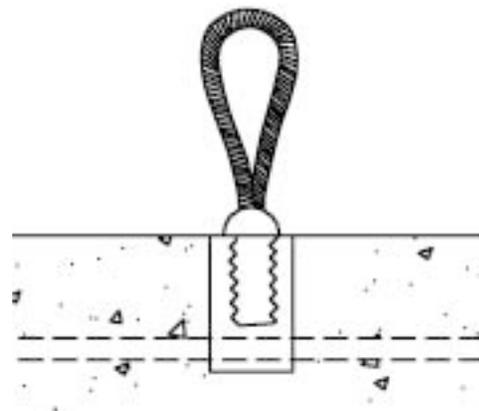


Figura 5 - *Insert* de içamento em alça de cabo de aço.

Os painéis de concreto são moldados e frequentemente erguidos na posição horizontal. Quando erguidos verticalmente (foto 13), devem ser suspensos por pontos acima do centro de gravidade das peças. Quando necessário, são usadas plataformas inclinadas no manuseio, para reduzir os esforços na manipulação dos painéis nas baixas idades, en-

quanto sua resistência mecânica ainda é pequena (REAGO, 1997; BROOKES, 1998).



Foto 13 - Instalação de um painel de concreto em uma construção em Estocolmo (foto: Vanessa Gomes).

De acordo com as dimensões do painel, há necessidade de escoramento metálico e de guias provisórias que sustentem os painéis até que se execute o seu travamento à estrutura da edificação (foto 14) (PCI, 1989; MEDEIROS, 1996).



Foto 14 - Posicionamento de painel utilizando escoras provisórias (foto: MEDEIROS, 1996).

2.5 Fixação

Mesmo em edifícios com estruturas metálicas, os painéis são preferencialmente fixados na laje de concreto. Quando fixados apenas na estrutura metálica, corre-se o risco de que sejam impostas às vedações solicitações significativas, decorrentes das deforma-

ções da estrutura metálica, podendo comprometer o desempenho global do sub-sistema.

Embora a variação dimensional do painel na fabricação não deva exceder 3mm, as imprecisões causadas por desvios na armação e na execução podem ultrapassar 25mm. Essa tolerância deve ser considerada na escolha do método para a fixação, assim como outras soluções, para permitir eventuais movimentos do painel devido a variações higro-térmicas e deformações da estrutura principal do edifício.

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, 1992c; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998):

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

Como conectores, podem-se utilizar pinos e/ou cantoneiras, com cuidados especiais para evitar restrição de movimentações da estrutura ou dos painéis (figura 6). Os painéis também podem ser projetados com bases horizontais de apoio que transmitem a carga do peso próprio para a estrutura, sendo que a união entre estas bases e a estrutura (laje de concreto) é feita com argamassa ou grout. Na maioria das vezes utilizam-se cantoneiras no topo e cantoneiras ou pinos na parte inferior, devido à maior rapidez na execução (PCI, 1989; BROOKES, 1998).

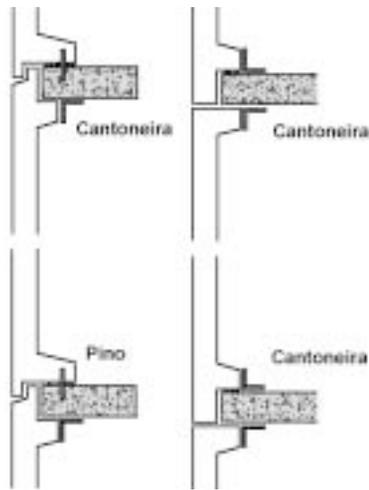


Figura 6 - Fixação de painéis de concreto.

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 (ex. o aço inoxidável da fixação e o aço da estrutura), para evitar a formação de par galvânico. O isolamento deve ser feito através de membranas (fitas e/ou arruelas) de material polimérico (Figuras 7 e 8) (BLANC *et al.*, 1992; DAWSON, 1995; BROOKES, 1998).

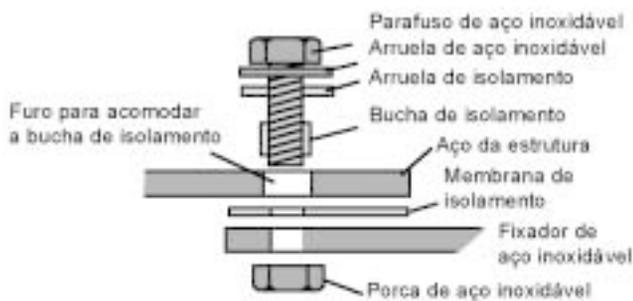


Figura 7 - Isolamento físico (horizontal) entre metais não similares (DAWSON, 1995).

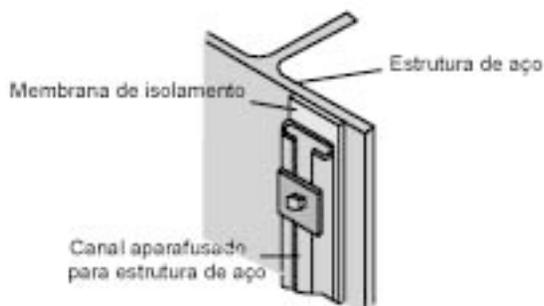


Figura 8 - Isolamento físico (vertical) entre metais não similares (DAWSON, 1995).

As fixações dos painéis podem ser feitas de três formas (DAWSON, 1995):

a) fixação no topo do painel: a base horizontal de apoio, localizada no topo do painel, suporta o carregamento do seu peso próprio e de cargas do vento. A movimentação térmica no painel gera movimentações no plano horizontal e no plano vertical. A base de apoio é conectada à laje de concreto por um *insert* de fixação em cada extremidade do painel. Para prevenir qualquer movimentação entre a laje e o painel, uma das extremidades é fixada com *grout*. A fixação na outra extremidade permite movimentações no sentido horizontal. Os pontos de fixação na base do painel permitem as movimentações 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.

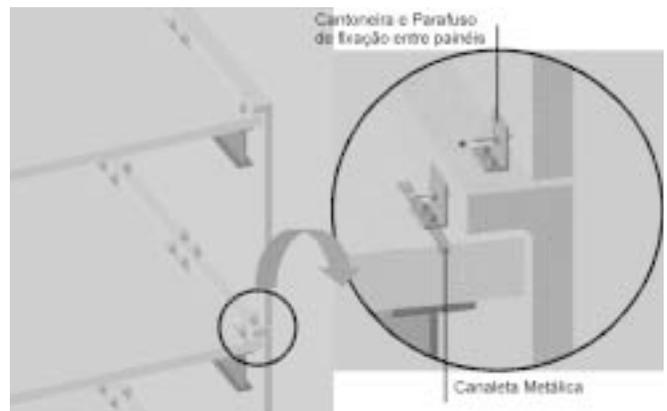
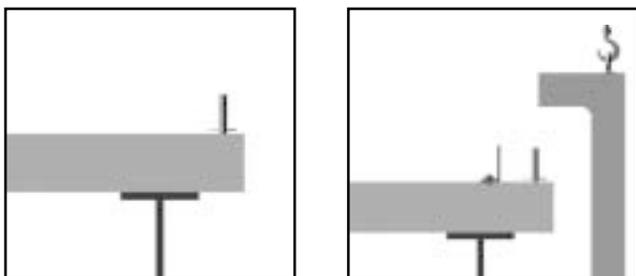


Figura 9 - Sistema de fixação no topo do painel de concreto

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*. Este 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.

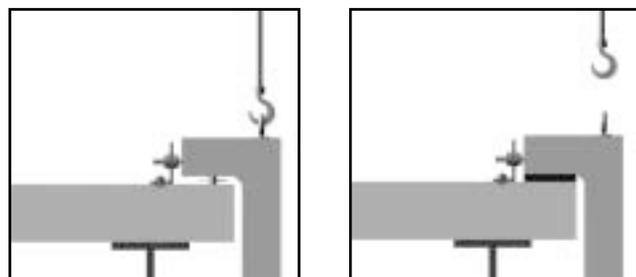
Painéis de concreto

A figura 10, abaixo, ilustra uma seqüência de fixação deste tipo de sistema



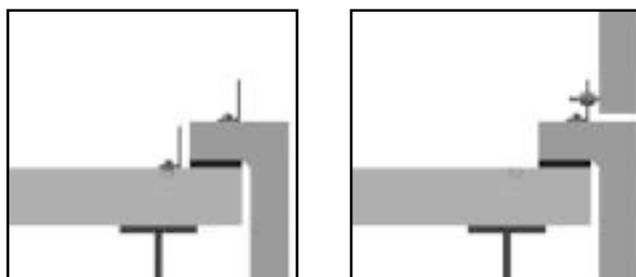
esq. - laje preparada para receber o painel.

dir. - cantoneira fixada à canaleta metálica para ajuste correto da posição do painel e painel sendo encaixado no insert.



esq. - parafuso horizontal fixando o painel à cantoneira e pequenos ajustes feitos para o alinhamento do painel.

dir. - guindaste removido após colocação de grout que fixa o painel na laje de concreto.



esq. - base horizontal de apoio do painel preparada para receber o painel superior.

dir. - parafusos fixando o painel inferior ao painel superior e retirada da cantoneira fixada à canaleta metálica após o endurecimento do *grout*.

Figura 10 - Seqüência de montagem do sistema de fixação no topo do painel.

b) fixação na base do painel: uma base horizontal de apoio suporta o peso próprio e as cargas do vento. Nesta configuração, o painel atua sob compressão. Utiliza-se apenas um pavimento para a instalação do painel. A fixação à laje de concreto é feita por cantoneiras e dois *inserts* de fixação nas extremidades da base do painel (figura 11): apenas uma das extremidades é fixada com *grout*, prevenindo qualquer movimentação entre a laje e o painel. A cantoneira de ajuste do painel é retirada após o endurecimento do *grout*. Na outra extremidade, uma canaleta metálica permite o ajuste do painel para o seu posicionamento correto na fachada. Cantoneiras e parafusos situados nas extremidades da parte superior do painel são fixados à base da viga metálica que recebe a laje do pavimento superior. Estas fixações acomodam movimentações no plano vertical e horizontal decorrentes de deformações térmicas (figura 11). As dimensões mínimas das bases horizontais de apoio variam conforme os tipos de conectores (figuras 12 e 13).

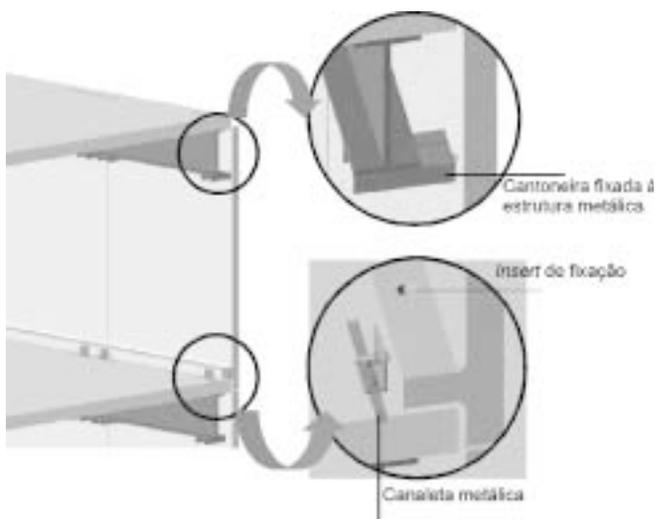


Figura 11 - Detalhe do sistema de fixação na base do painel de concreto.

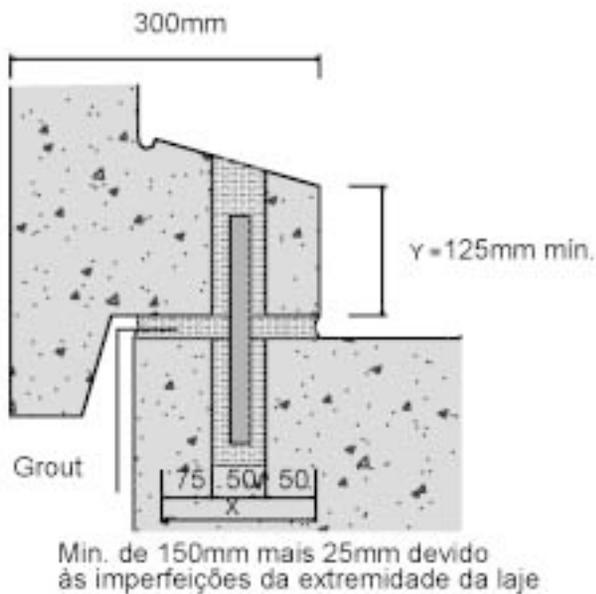


Figura 12 - Fixação da base horizontal utilizando pinos (a partir de BROOKES, 1998).

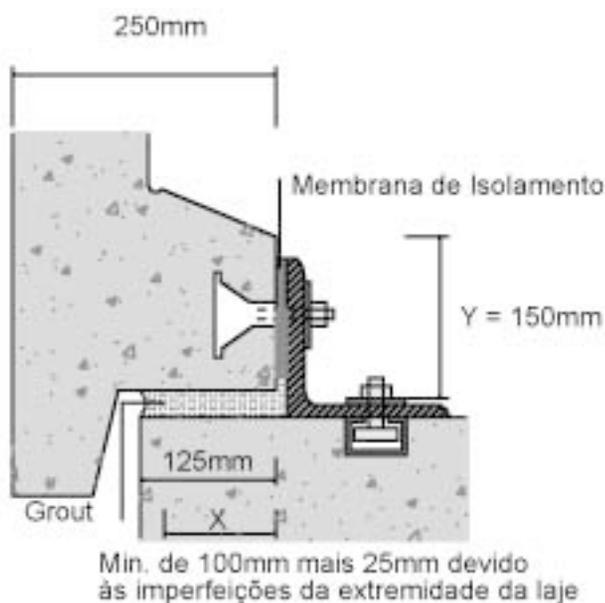
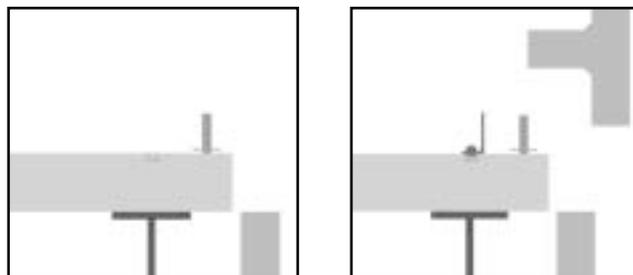


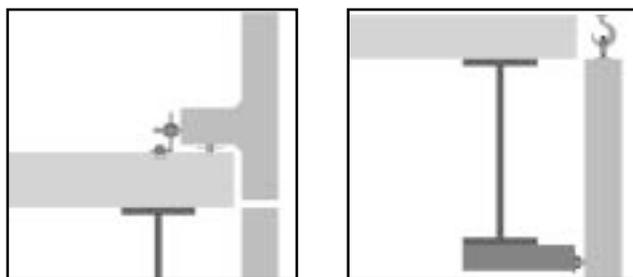
Figura 13 - Fixação da base horizontal utilizando cantoneiras (a partir de BROOKES, 1998).

A figura 14 abaixo ilustra a seqüência de montagem do sistema de fixação na base do painel.



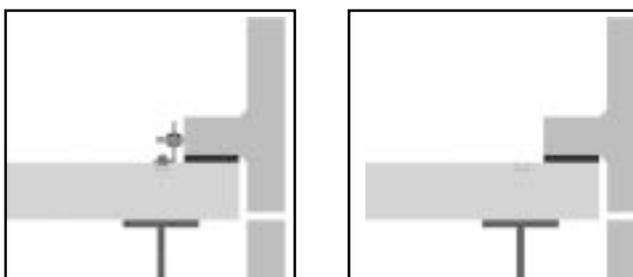
esq. - laje preparada para receber o painel.

dir. - cantoneira fixada à canaleta metálica para ajuste correto da posição do painel e painel sendo encaixado no *insert*.



esq. - parafuso horizontal fixando o painel à cantoneira.

dir. - parafuso fixando a parte superior do painel à estrutura metálica.



esq. - guindaste removido após colocação de *grout* que fixa a base do painel à laje de concreto.

dir. - cantoneira e parafuso fixados à canaleta metálica removidos após o endurecimento do *grout*.

Figura 14 - Seqüência de montagem do sistema de fixação na base do painel

c) 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 à base horizontal de apoio (figura 15).

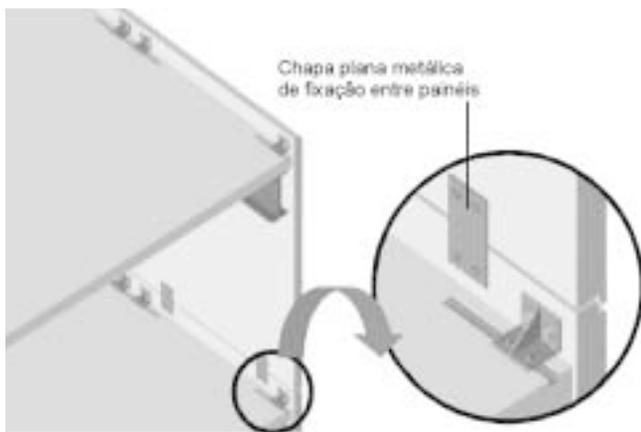


Figura 15 - Detalhe de fixação de painéis sem a base horizontal de apoio. Cantoneiras de fixação são colocadas em dois pontos no topo do painel, para suporte do peso próprio da peça. A cantoneira também possui a função de ajuste correto da posição do painel devido à existência da canaleta metálica. A fixação entre painéis é feita por uma chapa plana metálica aparafusada, que tem por função resistir apenas às cargas de vento que poderiam causar rotação do painel ao redor de sua conexão.

A restrição às movimentações decorrentes de deformações térmicas do painel é análoga à fixação no topo do painel. Uma das cantoneiras de fixação situadas no topo do painel previne qualquer movimentação entre a laje e a extremidade do painel, enquanto 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.

No caso de fixações utilizando cantoneiras, podem ser utilizadas *fixações soldadas*, conexões aparafusadas ou ancoragens expansivas. As fixações soldadas são eficientes e de fácil ajuste para variações nas condições de campo. A resistência da fixação depende da habilidade do soldador e da compatibilidade do material da solda com o metal a ser unido.

As *conexões aparafusadas* freqüentemente simplificam e aceleram a operação de içamento, porque uma conexão da base horizontal de apoio é imediatamente executada. O alinhamento e o

ajuste final podem ser feitos posteriormente, sem gastar o valioso tempo do guindaste.

É sempre desejável padronizar o tamanho das fixações (conectores e parafusos). Com conexões aparafusadas, os parafusos de $\frac{1}{2}$ ou de 1 polegada de diâmetro são considerados como um padrão na indústria do concreto pré-fabricado. Não obstante as exigências de carga, um parafuso de $\frac{1}{2}$ polegada deve ser o diâmetro mínimo utilizado para toda conexão de concreto pré-fabricado (PCI, 1989). Quando os parafusos são fixados nas lajes de concreto, estas recebem *inserts* durante a concretagem, normalmente *inserts* de fixação tipo canaleta metálica e parafusos em forma de "T" para uma boa margem de tolerância (figura 16).

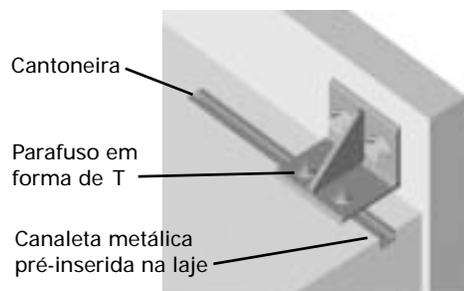


Figura 16 - Perspectiva e corte de insert tipo canaleta e parafuso em forma de "T" (a partir de DAWSON, 1995).

Uma outra forma de garantir o deslocamento do painel na fixação é utilizar um entalhe no conector. A figura 17 ilustra um sistema de painéis de concreto suportado pelo topo onde as conexões com entalhe foram utilizadas. Neste caso, o parafuso deve estar apertado de forma a não impedir seu movimento dentro do entalhe da conexão. Arruelas de baixa fricção (PTFE⁵ ou nylon) grandes o bastante para sobrepor os lados do entalhe permitem a movimentação.

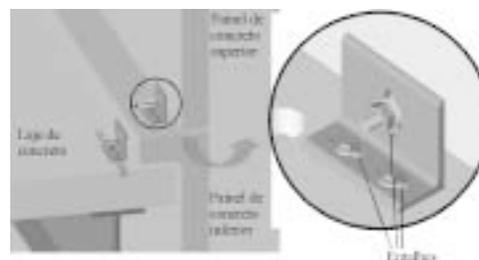


Figura 17 - Detalhe do entalhe na cantoneira utilizado para garantir o deslocamento.

Capítulo 3

Painéis de GRC

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 possibilita a produção de componentes mais leves, com elevado desempenho mecânico e conforto ambiental.

As fibras, além de atuarem de modo semelhante ao das barras de aço no concreto armado, aumentam a capacidade de absorver deformações à resistência, à tração, à flexão e aos impactos. O reforço, aleatoriamente disposto ao longo de toda a matriz cimentícia, evita o aparecimento de fissuras e garante 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; BALAGARU; SHAH, 1992).

Um exemplo nessa linha de materiais compósitos são os painéis de GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*), na designação internacional⁶, nos quais fibras de vidro resistentes a álcalis (AR) são adicionadas à matriz cimentícia. O GRC pode conter ainda *fillers*⁷, pigmentos, adições minerais e aditivos.

Os painéis cimentícios reforçados com fibras de vidro conciliam flexibilidade de projeto com as 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 ao banimento 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 (TRUE, 1985; MARTEN, 1990; GRCA, 1995).

Apesar da diversidade de aplicações possíveis, o emprego mais nobre do GRC na construção civil é na forma de painéis de vedação e revestimento de fachadas. Por permitir a reprodução fiel do desenho, na cor e na textura originais dos elementos, eles podem

ser utilizados em edifícios novos ou em trabalhos de restauração de edifícios históricos, na reconstituição de componentes não mais disponíveis no mercado e na reabilitação de estruturas antigas ou danificadas (PCI, 1994; PCI, 1995; PARK, 1996, SILVA, 1998).

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 8) SILVA *et al.*, 1998).

Atualmente, existe apenas um fabricante nacional de painéis pré-fabricados de GRC, localizado no estado de São Paulo. A tecnologia utilizada é a projeção manual. Ainda não há porém, edificações brasileiras com esta tecnologia, estando os primeiros casos nacionais ainda em fase de projeto.

Quadro 8 - Vantagens e desvantagens da utilização dos painéis de GRC.

Vantagens
Versatilidade de geometrias, dimensões, cores e texturas superficiais.
Aptidão à incorporação de instalações e camadas de isolamento embutidas e fonoabsorventes.
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.
Propicia graduação do nível de isolamento termo-acústico, de acordo com as necessidades do projeto.
Razoável resistência ao fogo e elevada resistência mecânica inicial.
Fibras não suscetíveis à corrosão empregando cobrimento mínimo (vantagem em relação às fibras metálicas).

Desvantagens

Fissuração superficial e falta de uniformidade ocasionando prejuízos estéticos e favorecendo a proliferação de microorganismos.

Sensibilidade da fibra de vidro em meios alcalinos, que reduz a vida útil dos painéis.

A incompatibilidade química entre a matriz de cimento e as fibras de vidro impede que o aumento significativo das resistências mecânicas, da tenacidade e da capacidade de deformação dos compósitos jovens seja mantido ao longo do tempo em ambientes úmidos.

Empenamento dos painéis causado pela diferença de temperatura e umidade entre as faces.

Sensível à perda de água, pode levar à deformação irreversível das peças.

Normalização em estudo pela ABNT, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros ABNT/CB-02.

As seis fotos abaixo ilustram algumas aplicações internacionais de painéis GRC.



Foto 15 - Gulf Oil Exploration and Production Company Building, Texas (PCI, s.d.).



Foto 16 - De Anza Corporate Center, Cupertino, Califórnia (PCI, s.d.).



Foto 17 - San Francisco Marriott Hotel, Califórnia (PCI, 1995).



Foto 18 - Wilshire Palm Office Building, Beverly Hills, Califórnia (PCI, 1995).



Foto 19 - Fairmont Hotel, San Francisco, California (PCI, s.d.).



Foto 20 - Fairmont Hotel, San Francisco, California (PCI, s.d.).

Os painéis de GRC enquadram-se no grupo de vedações leves (densidade superficial inferior a 100kg/m²) e normalmente apresentam-se na configuração multi-camadas, para utilização como elementos de fechamento interno e externo, sem fins estruturais.

Com base em extensa literatura, visitas técnicas e contatos com fabricantes, este capítulo apresenta aspectos de produção, de projeto e de montagem dos painéis de GRC, assim como as vantagens da sua utilização nas vedações de edifícios com estruturas metálicas.

3.1 Tipos e características dos 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. (CIRIA, 1992^b; BROOKES, 1998; HARISON & VEKEY, 1998; BARTH, 2000).

Existem quatro tipos de painéis de GRC:

- painéis com geometria simples: um paramento externo tipo casca. Normalmente, é utilizado para vãos de até 1m e com espessura de 10 a 15mm.
- painéis com configuração em sanduíche⁸: 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.

Os painéis com configuração em sanduíche⁹ e os painéis com geometria simples (paramento externo) 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, porém com menor frequência devido à consolidação do emprego de painéis enrijecidos por uma estrutu-

ra metálica leve, 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).

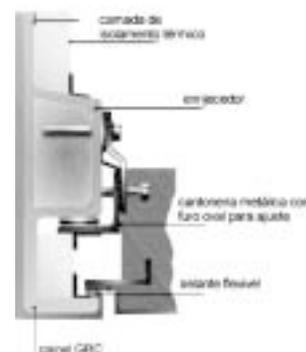


Figura 18 - Painel GRC com enrijecimento incorporado (SILVA, 1998^c).

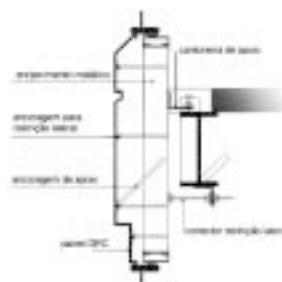


Figura 19 - Painel GRC enrijecido por uma estrutura metálica leve (stud frame) (SILVA, 1998^c).

A configuração mais utilizada internacionalmente é um sistema leve multi-camada, enrijecido por uma estrutura metálica leve. A cavidade criada entre os paramentos interno e externo (foto 21) é apropriada para abrigar tubulações e material isolante e fono-absorvente.



Foto 21 - Passagem de tubulações na cavidade entre os painéis de revestimento e o paramento interno (PCI, 1994).

8 - No mercado nacional, os painéis de GRC com configuração em sanduíche são inicialmente, 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 possui um custo inicial mais elevado comparado aos painéis sanduíche.

9 - 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.

Além de propiciar a graduação do nível de isolamento termo-acústico de acordo com as condições de exposição, esta característica contribui para a racionalização dos projetos complementares e para o aumento da área útil dos pavimentos, normalmente prejudicada pela necessidade de maior espessura de parede para oferecer níveis de conforto termo-acústico equivalentes. A figura 20 apresenta as principais funções dos sub-componentes do sistema (SILVA, 1998b).



Figura 20 - Sub-componentes do sistema de vedação dos painéis de GRC mais utilizados (SILVA, 1998b).

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 (fotos 22 e 23) (FIP, 1984; BENTUR; MINDESS, 1990; PCI, 1994). A modulação adotada no projeto é determinada pelo número de reutilizações dos moldes, o que influencia diretamente o custo final do painel.



Foto 22 - Diferentes formas para painéis reforçados com fibra de vidro (PCI, 1995).



Foto 23 - Diferentes dimensões para painéis reforçados com fibra de vidro (PCI, 1995).

As patologias em painéis GRC decorrem do envelhecimento do composto, que deixa de suportar as restrições impostas à sua livre movimentação. O envelhecimento é atribuído principalmente a:

a) incompatibilidade química entre as fibras e a matriz de cimento. A elevada alcalinidade das matrizes *Portland* provoca o ataque hidroxílico das fibras de vidro¹⁰.

b) 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

10- Este mecanismo tem sido gradativamente atenuado pelo desenvolvimento de cimentos compatíveis com os diferentes tipos de fibras de vidro, inclusive a fibra E.

do material (MAJUMDAR; LAWS, 1991; PCI, 1994; Cem-FIL LTD., 1996; SILVA^b, 1998).

Com o envelhecimento, perde-se o benefício trazido pelo reforço das fibras na resistência ao impacto e à tração na flexão, ambas relacionadas com as condições de exposição do painel. A fissuração decorrente prejudica a estanqueidade, que por sua vez influencia o desempenho termo-acústico e a durabilidade do sistema de vedação.

À incompatibilidade física do GRC somam-se falhas de projeto que levam a excesso de rigidez do conjunto. Especificação de espessura insuficiente, uso de revestimentos rígidos, sistemas de fixações e dimensionamento das juntas. Os ciclos de expansão/contracção, induzidos por gradientes térmicos entre as partes do GRC e as deformações entre os painéis e a estrutura da edificação são fatores importantes, que devem ser adequadamente considerados no projeto (SILVA, 1998^b).

3.2 Aspectos de fabricação e de produção

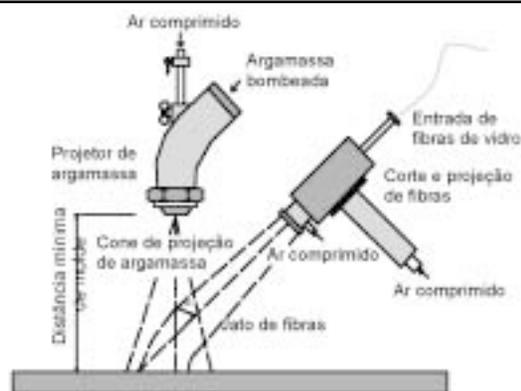
3.2.1 Processos de produção

O GRC pode ser fabricado pelos processos de pré-mistura, pelas adaptações do processo de produção de plástico reforçado ou cimento amianto e pelo método de projeção.

Os métodos de projeção são os mais usuais na confecção de painéis. Nestes casos (quadro 9), 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).

Quadro 9 - Propriedades da projeção direta e indireta.

Métodos de projeção
Projeção Indireta
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 a vácuo. Teor ótimo de fibras de 6%.
Feixes contínuos de fibras cortados em comprimentos de 10 a 50 mm.
Maior teor de fibras permite desmoldagem imediata e modificação da chapa plana em outras formas variadas.
Automatização viabiliza produção em série. Método restrito para a produção de painéis com geometria simples.
Direta manual ou automática
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. 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 38mm.
Como não há sucção a 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.



A projeção pode ser indireta (*projeção + sucção*), de excelente desempenho, porém a um custo elevado ou direta manual (figura 21) ou *spraymix*. Em ambos os processos, antes da projeção, aplica-se uma camada fina de pasta, para evitar a exposição das fibras na superfície do componente (SILVA, 1998^b).

Figura 21 - Esquema em corte do bico utilizado na projeção direta (*spray-up*).

Projeção do compósito pré-misturado: um misturador especial produz um compósito homogêneo e com elevado teor de fibras, sem aprisionamento de ar ou prejuízo da integridade dos filamentos. A alta velocidade de projeção promove o auto-adensamento, dispensando a aplicação de mist coat e os adensamentos intermediários (Cem-FIL Ltd., 1994)

O processo tradicional de produção de painéis GRC baseia-se na projeção e compactação manual (fotos 24 e 25).



Foto 24 - Painel sendo produzido por projeção (PCI, 1995).



Foto 25 - Painel em adensamento manual (PCI, 1995).

Já existem equipamentos para projeção automatizada, que além de uma considerável redução do tempo e do número de operários, propiciam maior controle de uniformidade do compósito, da distribuição das fibras, da espessura dos painéis e da qualidade global do componente (BALAGUER *et al.*, 1993; BALAGUER *et al.*, 1995). No entanto, a projeção manual ainda é dominante no mercado. A seleção do método mais adequado de produção depende da geometria e do tipo dos painéis especificados em projeto e também das tensões geradas nas etapas de manuseio e requeridas na instalação e uso na edificação, sempre tendo em vista a necessi-

dade de atendimento a requisitos e critérios de desempenho previstos.

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 (Fotos 26 e 27). Cada um destes sistemas fornece meios para ligação dos painéis à estrutura do edifício (SILVA, 1998^b).



Foto 26 - Nervuras para enrijecimento de painéis planos de GRC (PCI, 1995).



Foto 27 - Nervuras para enrijecimento de painéis curvos de GRC (PCI, 1995).

Os elementos de isolamento, enrijecimento e ancoragem são posicionados entre os sucessivos ciclos de projeção de compósito. Nos painéis enrijecidos por estrutura metálica leve, a confecção e o posicionamento das chapas, que ligam as ancoragens ao painel de GRC (*bonding pad*¹³), são feitos manualmente (Fotos 28 e 29).

12 - O fabricante nacional utiliza os métodos de pré-mistura e o método de projeção manual direta. A seleção do processo produtivo ideal depende da aplicação do GRC especificada.

13 - Porção suplementar de GRC com área efetiva mínima de 155 cm² 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).



Foto 28 - Posicionamento do enrijecimento metálico a painéis GRC (PCI, 1995).



Foto 29 - Incorporação do enrijecimento metálico a painéis GRC (PCI, 1995).

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 sete 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.

3.2.2 - Formulação e propriedades típicas de painéis de GRC

O quadro 10 indica a dosagem típica dos materiais usados na produção de painéis de GRC visando controle da retração e da variação volumétrica.

Quadro 10 - Formulação típica de misturas GRC empregadas na produção de painéis de fachada (Cem-FIL LTD., 1996).

Constituintes (por m ³)	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

A melhor dosagem do GRC é definida pela necessidade de atendimento a requisitos e a 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.

O procedimento de projeção define as características dos agregados que devem ser controladas nas misturas GRC: dimensão máxima característica 0,85mm, 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).

Para painéis de fachada, de modo geral, duas propriedades são particularmente relevantes: 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, 1998b).

Para um controle maior destas propriedades, devem-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.

O quadro 11 mostra algumas propriedades técnicas dos painéis de GRC, de acordo com a tecnologia de produção.

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 ao impacto	10-25 kJ/m ²	10-15 kJ/m ²
Módulo de elasticidade	10-20 GPa	10-20 GPa
Deformação na ruptura	0,6-1,2%	0,1-0,2%

3.2.3 - Acabamentos em painéis de GRC

É possível aplicar diversas cores e texturas aos componentes em GRC (foto 30). Os acabamentos mais recomendados, em painéis de GRC, podem ser obtidos através das seguintes alternativas (CIRIA, 1992b; PCI, 1994; PCI, 1995; BROOKES, 1998):

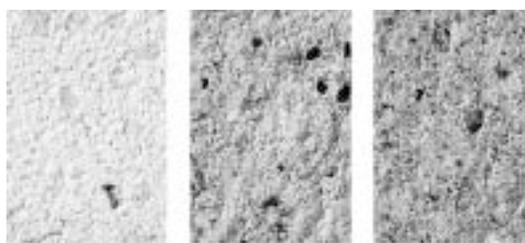
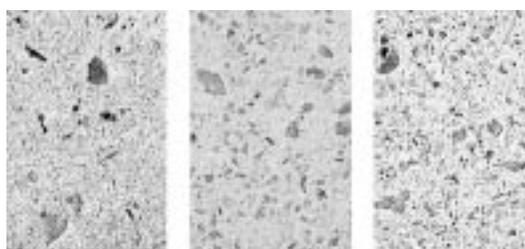
- aplicação de textura na superfície do molde, onde é possível obter alguns detalhes e formas com baixo e alto relevo nos painéis através de elementos adicionais com distintos materiais preparados sobre o molde.

- tratamentos superficiais, onde a remoção da pasta em torno dos agregados pode ser feita quimicamente, utilizando retar-

adores 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 empregada 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.

Dentre estas, a alternativa de menor custo 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.



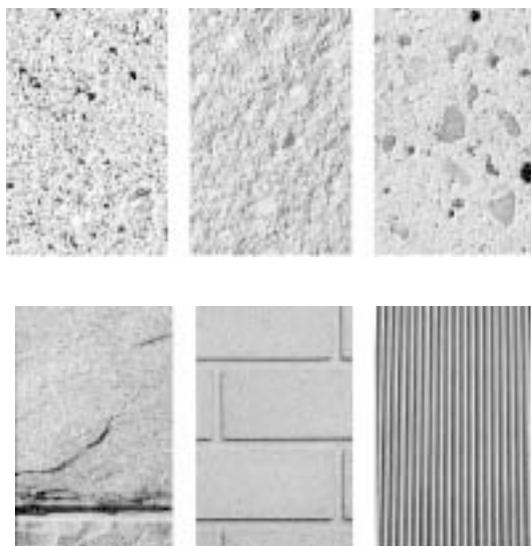


Foto 30 - Acabamentos superficiais para painéis de GRC (PCI, 1995).

Os pigmentos devem ser estáveis sob alta temperatura e radiação ultravioleta, resistentes a meios alcalinos e inofensivos, à pega do cimento, à resistência do GRC e da camada de acabamento (ASTM C979/1993). 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 destes materiais como padrões de acabamento implica no emprego de barreiras de aderência — elementos que permitam a movimentação independente do painel e 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 ele-

vadas, 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).

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 das matrizes para solucionar a questão do envelhecimento. Quanto às tensões diferenciais entre o revestimento e o painel, Silva (SILVA 1998b) recomenda expressamente que, para o estado atual de conhecimento da tecnologia, no clima brasileiro, somente sejam empregados painéis integralmente pigmentados ou recobertos por misturas de acabamento com composição semelhante à do GRC¹⁴ e com absorção de água e dimensão máxima características dos agregados controlados. Os projetistas devem, portanto, explorar a gama de possibilidades oferecidas por painéis de dimensões realistas, pigmentados e/ou com agregado exposto ou outro acabamento superficial do próprio painel.

3.3 Aspectos de projeto e de construção

3.3.1 Geometria e Modulação

Para garantir o desempenho estrutural do painel, o seu dimensionamento é função das solicitações mecânicas e físicas a ele impostas durante o manuseio e utilização (cargas de vento, esforços no içamento, impacto, peso próprio etc), bem como das

deformações admissíveis causadas por tensões internas e por dilatação térmica.

As principais diretrizes que orientam o projeto de painéis GRC podem ser reunidas em torno de dois princípios básicos: a) dimensionar o painel de modo que as tensões sejam sempre mantidas abaixo do limite elástico do compósito e b) permitir que a camada GRC movimente-se livremente em resposta às alterações ambientais (SILVA, 1998_b). Modificações da formulação das matrizes visando controlar essa movimentação e os mecanismos de envelhecimento, detectados nos compósitos à base de cimento *Portland*, estão sendo estudadas, com aparente sucesso para climas mais frios. Ainda não há dados destes estudos para o clima brasileiro.

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 de acomodarem a movimentação diferencial entre o painel e a estrutura do edifício (CIRIA, 1992_b; BROOKES, 1998).

As características geométricas dos painéis definem a complexidade 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 22, 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 a ação do vento (figura 22, situação 1). Ancoragens muito curtas, por outro lado, tendem a restringir a movimentação e criar ten-

sões de flexão no GRC (figura 22, situação 4). A geometria do painel pode, ainda, criar áreas parcialmente sombreadas ou protegidas da incidência direta da chuva (figura 22, situação 3), que originarão tensões diferenciais no GRC (SILVA, 1998_b).

Normalmente, são utilizados painéis de dimensões de 1,5m a 3m de altura por 2m a 6m de comprimento, para espessuras entre 13mm e 20mm. A densidade superficial dos componentes varia de 50 a 120kg/m², dependendo da forma, da dimensão e do tipo de acabamento. A espessura da camada de GRC não deve ser inferior a 13mm, 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 22 - Influência da geometria dos painéis sobre a natureza das tensões atuando na camada de GRC (SILVA, 1998_b).

A versatilidade de geometria e seções (foto 31) pode ser explorada para criar recuos do 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 (fotos 32 e 33) (PCI, 1995; SILVA, 1998_b). A modulação dos painéis deve ser orientada para a maximização do reaproveitamento dos moldes.



Foto 31 - Flexibilidade de projeto: os painéis de cimento reforçado com fibras de vidro admitem diversas formas, cores, texturas e acabamentos (PCI, 1995).



Foto 32 - Painel com esquadria recuada em relação ao plano da fachada (PCI, 1995).



Foto 33 - Colocação de painel com esquadria recuada em relação ao plano da fachada (PCI, 1995).

O posicionamento das aberturas na fachada interfere na modulação dos painéis e na colocação das juntas de dilatação e eventuais juntas falsas. As juntas falsas são utilizadas como elementos de linguagem arquitetônica e podem destacar ou dissimular a paginação bem como diminuir o impacto visual devido ao tamanho dos painéis. É sempre preferível trabalhar com aberturas menores e completamente envolvidas pelo GRC (figura 23 a). No caso de grandes vãos, a área de GRC deve ser dividida em panos menores, priorizando a continuidade das juntas horizontais (figura 23 b) (PCI, 1994; SILVA, 1998b; BARTH, 2000).

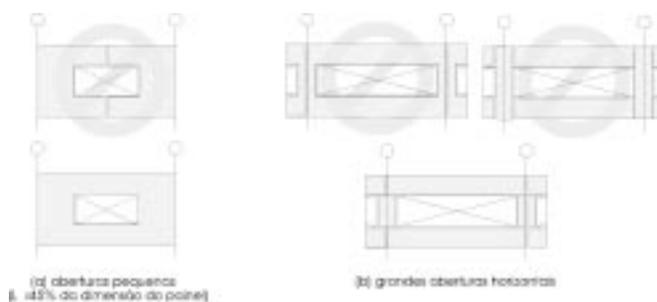


Figura 23 - Dimensões e aberturas em relação à modulação dos painéis em GRC (SILVA, 1998b).

3.3.2 - Juntas

As técnicas e princípios de vedação de juntas, em componentes e painéis de GRC, são similares aos apresentados para painéis de concreto que possuem um papel importante no desempenho global da vedação vertical (vide capítulo 2). O projeto das juntas irá determinar o seu dimensionamento e a necessidade de barreiras intermediárias, de maneira a garantir a adequação às classes de segurança contra o fogo, estanqueidade e isolamento termo-acústico desejadas.

Entretanto, diferentemente dos painéis de concreto, as juntas com selantes elásticos são as mais utilizadas, podendo ser em silicone de baixo módulo, polissulfeto mono e bi-componente, e poliuretano mono e bi-componente. Além do cessoante propriamente dito, o sistema de selagem de juntas é composto

pelo material de enchimento e de acordo com as características do cesso e das superfícies, um fremir para melhorar a aderência e garantir o desempenho previsto da vedação (ASTM C1193, 1991; PCI, 1994; CIRIA, 1992b; HUTCHINSON ect 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 (figuras 24, 25 e 26) (PCI, 1994; PCI, 1995).

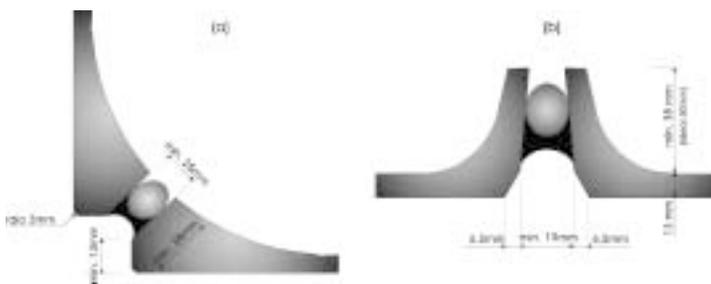


Figura 24 - Detalhes típicos de juntas entre painéis: (a) junta de canto do painel; (b) junta entre painéis (a partir de PCI, 1994).

A garantia da estanqueidade ao ar e à água é dada pela qualidade da vedação das juntas. Em situações críticas de exposição, é possível a utilização de juntas duplas que exigem abas laterais maiores em GRC (figura 25), ou ainda a utilização de painéis com saliências ao longo das juntas verticais, que ajudam a interceptar o fluxo de água antes que esta chegue à superfície da junta (figura 26) (SILVA, 1998)

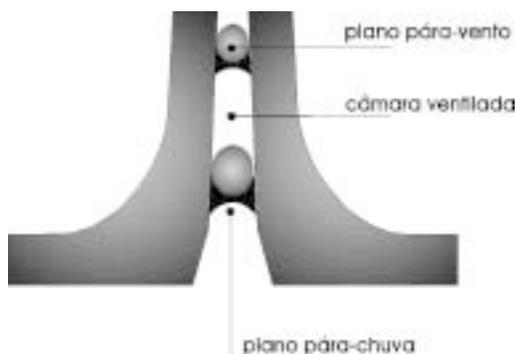


Figura 25 - Sistema de selagem de juntas duplas (SILVA, 1998).

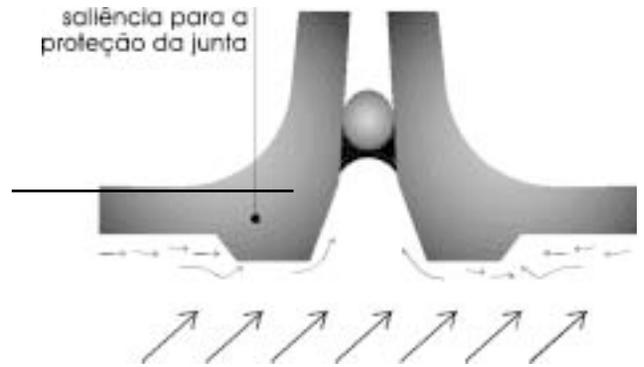


Figura 26 - Saliência na borda do painel para interceptar o fluxo da água da chuva (SILVA, 1998).

As juntas abertas de drenagem não são utilizadas, devido ao excesso de rigidez e dificuldade de execução de extremidades com sulcos de drenagem e à inconveniência de embutir das faixas de neoprene utilizadas para preenchimento de juntas (BROOKES, 1998).

Deve-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 estes 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).

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 12).

Quadro 12 - Características dos selantes (a partir de DAWSON, 1995; HUTCHINSON et al., 1995).

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

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

3.3.3 - Montagem

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 suscetibilidade 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). De forma semelhante aos painéis de concreto, o fechamento em painéis de GRC caracteriza-se por acoplamento mecânico.

3.3.4 - Fixação

As alternativas de fixação (pinos e/ou cantoneiras), empregadas para os painéis de GRC, podem ser adaptadas a partir daquelas

usadas para os painéis de concreto, com o cuidado de não restringir os movimentos naturais do painel. Ao resistir às cargas de vento, as fixações devem permitir que os deslocamentos do edifício e do painel (horizontal/vertical e rotacional) ocorram livremente (figuras 27 e 28).

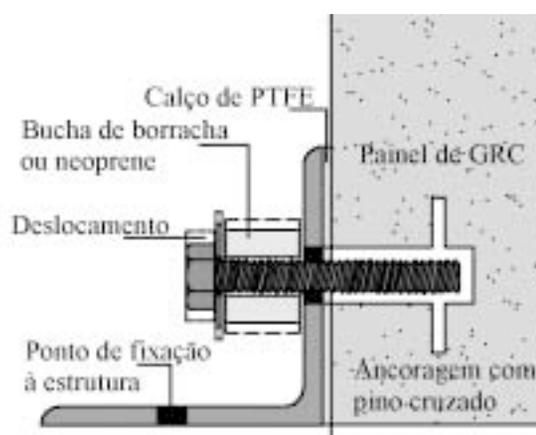


Figura 27 - Fixação no GRC com conector com entalhe e ancoragem cônica (CIRIA, 1992^a, BROOKES, 1998).

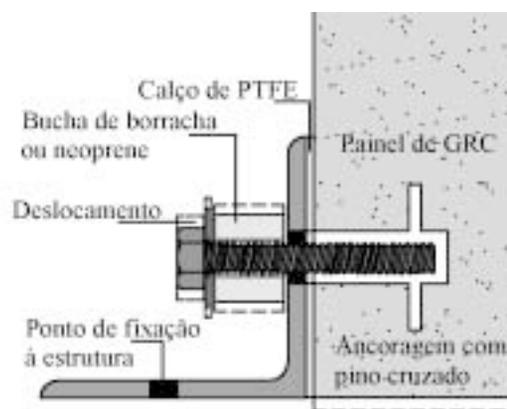


Figura 28 - Fixação no GRC com bucha de borracha e ancoragem com pino cruzado (CIRIA, 1992^a; BROOKES, 1998)

As cargas transmitidas através das fixações devem ser transferidas a uma área suficientemente grande de GRC, para evitar concentração de tensões. Por exemplo, as fixações inseridas devem ser chumbadas numa área de GRC de boa qualidade com uma largura mínima de 12 vezes o diâmetro do parafuso, observando a distância mínima de 6 vezes o diâmetro do parafuso entre o centro do mesmo e a face do painel.

tais devido às variações térmicas e de umidade na placa de GRC. A placa de GRC é fixada a intervalos regulares, a cada 600mm, mas os outros elementos de GRC não têm os tipos de fixação e os intervalos entre fixações padronizados (CIRIA, 1992^a; SILVA, 1998^b).

Já os painéis de GRC com enrijecedores incorporados são aparafusados à estrutura da edificação por quatro pontos de fixação (figura 30):

- 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 e
- dois pontos que contribuem para a estabilidade lateral e resistência à carga de vento que permitem deslocamento horizontal e vertical.

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^b; GRCA, 1995). É recomendado chanfrar as arestas para evitar fixações muito próximas das bordas dos painéis (SILVA, 1998^b).



Capítulo 4

Painéis metálicos

Uma outra alternativa de vedação pré-fabricada, largamente utilizada no exterior para vedação de edifícios altos e de elevado padrão residencial, comercial e industrial é o painel metálico, principalmente o painel sanduíche de aço ou de alumínio. No Brasil, entretanto, a utilização de painéis metálicos como elemento de vedação ainda está restrita a edifícios industriais e menos frequentemente, comerciais.

Este tipo de vedação encaixa-se no grupo das fachadas leves¹⁵, sendo um sistema usualmente multi-camada e que praticamente não intervém na estabilidade estrutural da edificação, sendo então suportado pela estrutura de armação, geralmente metálica, que é apoiada na estrutura principal (LNEC, 1974; HARRISON; VEKEY, 1998).

Os painéis são compostos por lâminas metálicas, isolamento térmico e revestimento interno, em configuração sanduíche ou integrada. Geralmente, utilizam-se painéis de largura padrão, aparafusados para se obter uma simples montagem. As chapas de aço são as mais utilizadas, devido ao seu menor custo, protegidas por uma cobertura orgânica (PVC) ou pintura à base de fluorpolímeros. As fotos 36, 37 e 38 trazem edificações com vedação externa em painéis metálicos.

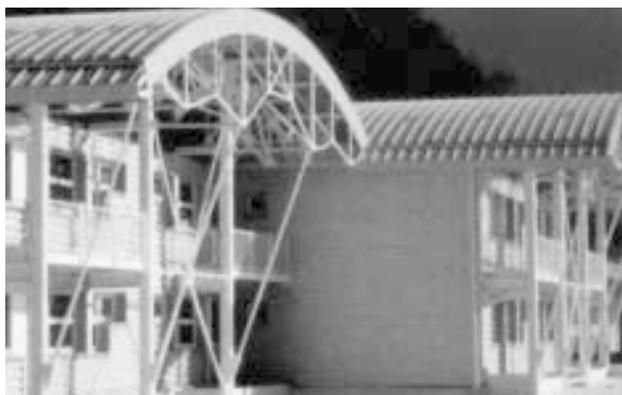


Foto 36 - Edifício residencial, França (HAIRONVILLE, 1999).



Foto 37 - Fairview Lakes Regional Medical Center (HAIRONVILLE, 1999).



Foto 38 - Lufthansa Jumbo, Hamburgo Alemanha (HAIRONVILLE, 1999).

4.1 - Aspectos de fabricação

Os painéis metálicos dividem-se basicamente, em dois grupos: painéis perfilados e painéis compostos (ou sanduíche).

Os *painéis perfilados* são componentes de chapa perfilada montados sobre perfis metálicos e preenchidos por uma face de acabamento interno. Geralmente as lâminas metálicas são em alumínio ou em aço galvanizado (figura 31).



Figura 31 - Exemplo de configuração de painéis metálicos perfilados (a partir de SILVA, 1999).

Os painéis metálicos perfilados são geralmente empregados em edificações mais baixas. Recomenda-se a sua utilização como elemento de vedação externa apenas acima de 1,5 m do nível da rua. O sistema não atende ao nível de resistência de impacto requerido para alturas inferiores (CIRIA^a, 1992; BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998).

As chapas em aço ou alumínio têm de 3 a 6 mm de espessura, largura de até 1,2 m e comprimento de até 20 m. As chapas metálicas são cortadas e soldadas de modo a formar arestas de acabamento, que posteriormente recebem enrijecedores pelo lado interno do painel (foto 39). A rigidez do painel depende da espessura da chapa e da quantidade (e espaçamento) de enrijecedores (BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998).

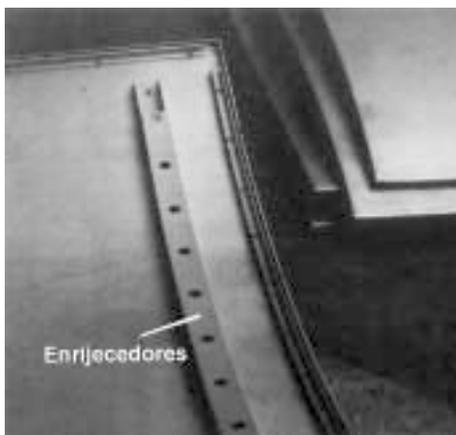


Foto 39 - Painéis perfilados com enrijecedores na face interna (BROOKES, 1998).

Este tipo de painel é suportado por uma estrutura de armação e seu isolamento é geralmente colocado no local. A parte interna da vedação é acabada com outra lâmina metálica ou algum outro tipo de acabamento interno, como por exemplo, painéis de gesso acartonado.

Na fabricação, a espessura da chapa é determinante para evitar ondulações na superfície e assegurar que a chapa seja perfeitamente plana. As chapas são cortadas após receber o acabamento e todo o processo de fabricação deve ser preciso, a ponto de evitar problemas de aparência e corrosão (BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998).

Os painéis compósitos ou painéis sanduíches são formados por duas chapas metálicas apoiadas separadamente e vinculadas entre si através de um material leve, geralmente um isolante termo-acústico. O espaçamento entre as lâminas determina o nível de isolamento termo-acústico e a rigidez do conjunto final, que atinge resistência maior que os painéis perfilados (figura 32). A possibilidade de fabricação desses painéis com o material de isolamento incorporado possibilita a esses painéis uma melhor exposição a altas temperaturas (BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998).

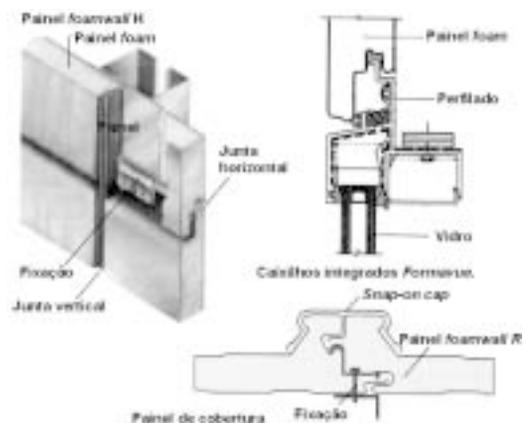


Figura 32 - Painéis metálicos compósitos (FINESTRA 1997²).

Atualmente, os painéis compósitos são os de maior utilização na construção civil,

pois podem ser utilizados em edifícios altos e com padrões arquitetônicos sofisticados. Diferentes tipos e espessuras de lâminas e espumas podem ser utilizados como material de isolamento, dependendo da rigidez e do desempenho termo-acústico requeridos. Os materiais de isolamento utilizados (SATO, 1988^a, BROOKES, 1998) são normalmente:

- lã mineral – fibras inorgânicas (lã de vidro, rocha, carbono ou cerâmicas).
- colméia de papel.
- lâminas de poliestireno e
- espuma de poliuretano.

As lâminas de poliestireno³ possuem menor custo em relação à espuma de poliuretano. Entretanto, o polissocianureto⁴ (versão modificada do poliuretano) possui melhor isolamento e é mais fácil de se fabricar, além de sua melhor resistência ao fogo e à rigidez. Essencialmente, este grupo subdivide-se em painéis com espuma de poliuretano e painéis laminados por pressão ou por rolos, ambos produzidos por processo contínuo ou em lotes (BROOKES, 1998).

Os painéis com espuma de poliuretano (ou de polissocianureto) podem receber a espuma durante a produção dos painéis através de processo contínuo (foto 40) ou da aplicação de espuma na horizontal (foto 41) ou na vertical (foto 42).

O processo contínuo de produção é o mais econômico, além de possibilitar a ligação do material de isolamento com as chapas metálicas. O controle de qualidade na produção contínua deve ser rígido, com verificação de temperatura, umidade, densidade e peso das camadas de espuma para manter a compressão entre as lâminas metálicas, já que rigidez global dos painéis é dada pela adesão entre as camadas (BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998).

Na produção horizontal, as dimensões dos painéis dependem apenas do meio de

transporte, do método de fixação e da configuração. Portanto, a altura dos painéis pode ser de até 30 m e a largura dos painéis de aço pode ser de até 1,3 m, e dos painéis de alumínio de até 1,5 m. Já os painéis produzidos por injeção vertical de espuma são limitados a 0,6 m de altura para o controle da densidade de espuma. Os produtos hidrofugantes são necessários para assegurar o fechamento do painel e manter a qualidade da espuma (BROOKES, 1998).

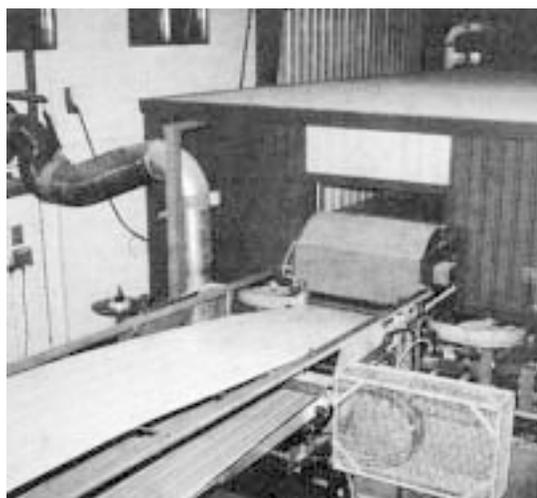


Foto 40 - Aplicação de espuma contínua (BROOKES, 1998).

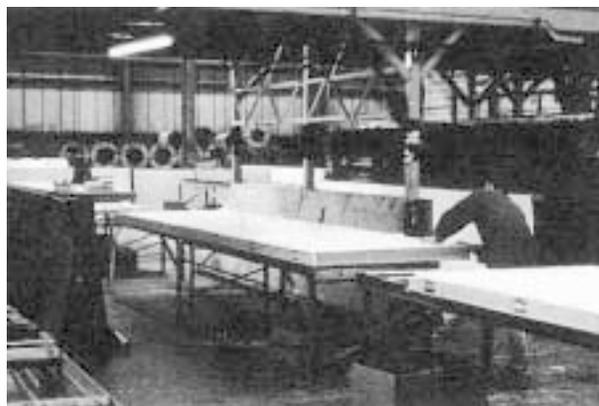


Foto 41 - Aplicação de espuma na horizontal (BROOKES, 1998).

17 - O poliestireno é um produto termoplástico com estrutura de células fechadas obtido por expansão do estireno polimerizado com capacidade de isolamento térmico (SATO, 1988b).

18 - O polissocianureto é um material termo-acústico, incombustível e autoportante que é obtido pelo tratamento de espuma de poliuretano (BROOKES, 1998).



Foto 42 - Aplicação de espuma na vertical (BROOKES, 1998).

Os painéis laminados são normalmente especificados para projetos de arquitetura sofisticados, onde é possível o emprego de sistemas integrados de vedação¹⁹.

Estes painéis são produzidos em série, através de *combinação de pressão e resina* (foto 43), que consiste na prensagem das espumas laminadas sob aquecimento, de forma que os painéis possam ser produzidos a partir da união de chapas metálicas (para acabamento interno e externo) com dimensões de 2,5 a 7m de comprimento, a lâminas de isolamento e lâminas de reforço previamente arranjadas, coladas e posteriormente pressionadas. Podem ser produzidos, também por *processo de pressão a vácuo* nas paredes dos painéis (foto 44). Neste segundo processo, o tempo de produção é maior que no processo de combinação de pressão e resina, e o seu comprimento-padrão é de 1,6 a 6 m (BROOKES, 1998).



Foto 43 - Produção de painéis pelo processo de combinação de pressão e resina (BROOKES, 1998).



Foto 44 - Produção de painéis utilizando processo de pressão a vácuo (BROOKES, 1998).

Os painéis laminados podem ser produzidos ainda pela passagem contínua de grandes rolos sobre as chapas e a camada de isolamento rígido, gerando painéis planos. Já para painéis curvos, são utilizados rolos deformadores a frio ou aplicação de pressão em uma única direção.

A resistência do metal e do material de isolamento permitem o uso de lâminas finas, com espessura entre 1,2 e 2 mm. As extremidades dos painéis recebem um reforço de neoprene, madeira ou espuma de lã de vidro (BROOKES, 1998).

A grande vantagem da produção em série é a obtenção de painéis com dimensões variadas e alternativas de material de isolamento, tais como placas de poliestireno, poliestireno estruturado, lã de rocha e lã de vidro, sendo o poliestireno estruturado a alternativa com maior resistência e controle de densidade.

A lã mineral e a colméia de papel, que normalmente contêm poliestireno inserido e boa aderência nas lâminas metálicas, também são alternativas de isolamento possíveis. Para um melhor desempenho acústico, principalmente quando se querem atenuar sons em baixas frequências, utiliza-se enchimento em lã mineral e adicionam-se lâminas de cimento amianto.

19 - Estes sistemas integrados incluem os painéis compósitos, portas e janelas (BROOKES, 1998).

De maneira a evitar a separação das várias camadas dos painéis compósitos laminados, três tipos de adesivos são utilizados: adesivos à base de neoprene, adesivos a base de poliuretano (mono e bi-componente) e adesivos base epóxi (mono e bi-componente). A especificação do adesivo está relacionada com a tensão existente entre os laminados e à sua resistência à elevação de temperatura.

Ainda assim, o descolamento pode ocorrer em caso de aquecimento da superfície externa do painel - que se expande - enquanto a superfície interna permanece com a temperatura menor em função do isolamento. Para tanto, algumas medidas, ainda na fase de projeto, podem reduzir este efeito do movimento térmico e acomodar esta dilatação — que apresentará uma tensão relativamente pequena entre a superfície externa e o isolamento — bem como não afetar a aparência da edificação (BROOKES, 1998):

- utilização de cores claras na superfície para reduzir o seu aquecimento.
- redução das dimensões dos painéis.
- evitar fixadores no centro do painel.
- seleção do tipo de adesivo e do isolamento para suportar os esforços decorrentes da movimentação térmica.
- maior coeficiente de dilatação da parte interna do que da parte externa do painel, para reduzir o efeito da movimentação térmica.
- nos painéis perfilados, a direção e a forma das nervuras pode mudar a característica da edificação afetando a sua estética, o mesmo valendo para painéis compósitos em aço com acabamento polido que podem dar uma grande refletividade.

Quando o painel tem suas extremidades limitadas por fixadores ou por painéis adjacentes, a tensão na interface da superfície com o enchimento pode tornar-se muito elevada e provocar a separação das camadas. Esta tensão pode ser reduzida se as extremidades dos painéis estiverem soltas.

4.1.1 Acabamentos em painéis metálicos

Nos painéis metálicos são normalmente utilizadas pinturas orgânicas como Plastisol PVC e películas de PVF2²⁰. Além desses acabamentos, outras alternativas são oferecidas pelos fabricantes, tais como pintura eletrostática, anodização e esmalte vítreo (CIRIAb, 1992; BROOKES, 1998).

A pintura eletrostática consiste na aplicação de polímeros a base de poliéster/poliuretano dentro de um forno, e deve ser efetuada na fábrica de modo a garantir a cobertura de relevos e cortes. A espessura do revestimento não deve ser menor que 75 µm.

A anodização pode ser efetuada de três maneiras, sendo que em todas elas utiliza-se ácido sulfosalicílico para produzir um filme anódico de proteção:

- a *anodização natural* (cor prata) é produzida em um único estágio, através da ação da eletrólise ao metal, porém não possui a mesma densidade do filme da anodização integral. Portanto, é aconselhável que a anodização natural sofra intervenções de manutenção.
- a *anodização em dois estágios* (cor bronze) necessita outro estágio para produzir o filme anódico que dará a coloração requerida.
- a *anodização integral* produz um filme anódico denso com características superiores de exposição e resistência a intempéries.

De um modo geral, as aplicações externas demandam uma espessura mínima de 25 µm de filme anódico. A cor da anodização depende do tempo pelo qual o metal é submetido à eletrólise e do tipo de liga utilizada. A anodização deve ser lavada regularmente para evitar corrosões na superfície pela deposição de sais e ação de agentes agressivos do meio.

Devido à dificuldade de manutenção da qualidade de painéis com acabamentos anodizados, outros acabamentos têm sido especificados, como as películas de fluorpolímero e

os acabamentos acrílicos. O desempenho desses acabamentos depende do substrato utilizado e a sua durabilidade está relacionada com o tipo de pré-tratamento empregado.

O acabamento em esmalte vítreo está normalmente associado a painéis de aço, devido a problemas de aderência entre o esmalte e o alumínio. O aço carbono necessário para fabricar o painel com esmalte vítreo é disponibilizado em larguras de até 1,52 m.

O aço inoxidável também pode ser empregado em vedações externas e em alguns casos, o seu custo pode ser menor quando comparado a um painel de alumínio com anodização integral de boa qualidade, mantido o mesmo padrão de rigidez.

O acabamento da superfície do aço inoxidável pode variar desde aço escovado até aço com acabamento polido, para painéis tanto com superfícies planas como texturizadas (CIRIAb, 1992; BROOKES, 1998).

4.2 Aspectos de projeto e construção

É importante que exista uma coordenação dimensional entre os painéis internos e externos. O quadro 13 apresenta as dimensões de painéis metálicos perfilados e compostos.

Quadro 13 - Dimensões de painéis metálicos (a partir de CIRIA^b, 1992; BLANC et al., 1993; BROOKES, 1998; HARRISON;VEKEY, 1998).

Tipos de painéis	Espessura das lâminas	Largura máxima	Altura máxima
Painéis perfilados	3 mm a 6 mm	1,2 m	20 m
Painéis Compostos Laminados	1,2 mm a 2 mm	1,3 m (aço) e 1,5 m (alumínio)	1,6 a 6 m (a vácuo)* 2,5 a 7m (por pressão e resina)*
Painéis Compostos com Espuma de Poliuretano	1,2 mm a 2 mm	1,3m (aço) e 1,5m (alumínio)	6m (espuma na vertical)* 30m (espuma contínua e horizontal)*

*Aspectos de produção dos painéis metálicos

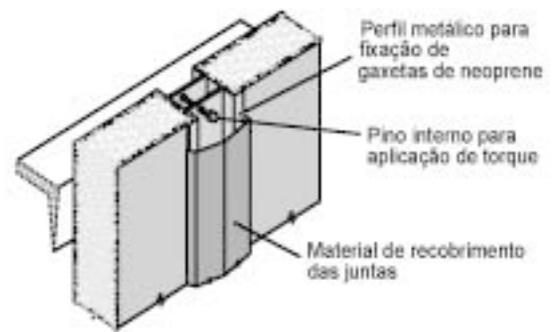


Figura 33 - Juntas vedadas com material de recobrimento (a partir de BROOKES, 1998).

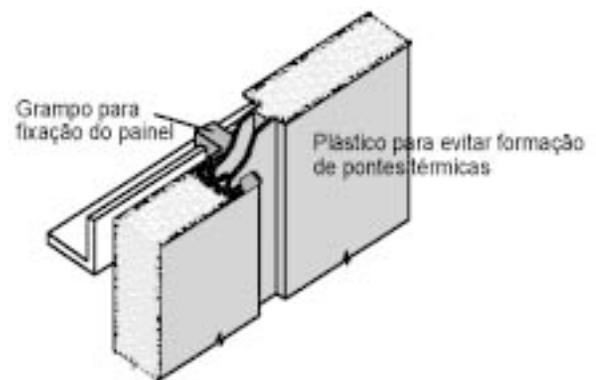


Figura 34 - Juntas vedadas pela geometria das bordas (a partir de BROOKES, 1998).

A fixação dos painéis perfilados pode ser feita tanto vertical quanto horizontalmente. Neste caso, as peças da fiada superior sobrepõem-se às da fiada inferior (figura 35).

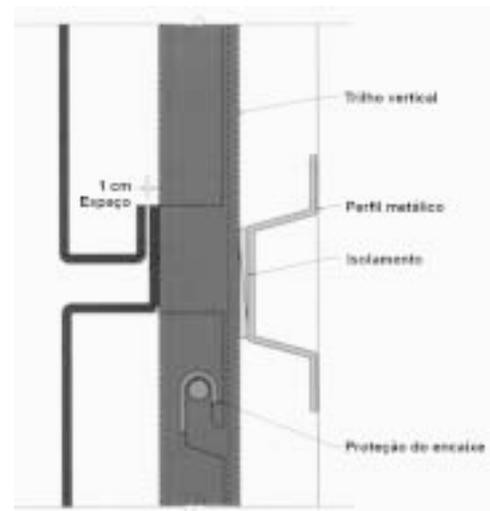


Figura 35 - Corte de junta horizontal de sistemas em painéis perfilados (cedida pelo fabricante – UNA CLAD).

As juntas verticais podem tornar-se verdadeiros caminhos para penetração da água da chuva e devem receber tiras de selante comprimidas pelas superfícies laterais dos painéis. Na fixação dos painéis perfilados em alumínio, recomenda-se que a lâmina não seja diretamente apoiada no suporte de canto e que fique suspensa usando um suporte em Z (figura 36), de maneira que permita a movimentação térmica dos painéis. Os cantos são vedados com juntas de silicone e pinos podem ser soldados na parte de trás dos painéis para receber as lâminas de isolamento (figura 37). As alternativas de suporte de painéis (a partir de BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998) estão nas figuras 36, 37 e 38.

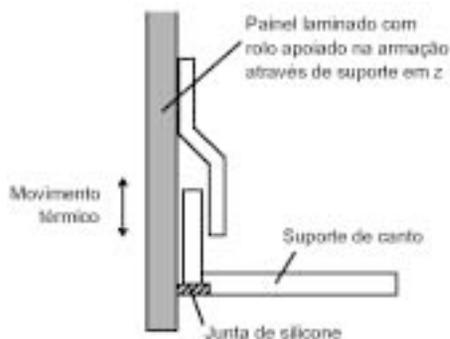


Figura 36 - Suporte dos painéis com suporte em Z

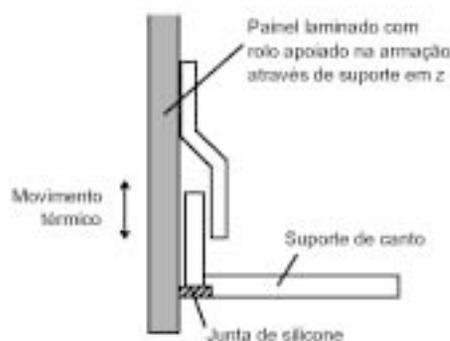


Figura 37 - Suporte dos painéis com pinos soldados atrás dos painéis

Uma outra alternativa de fixação das placas perfiladas se faz através de pinos ocultos, que permitem uma fácil remoção para inspeção, reparo e/ou reposição, porém ela deve ser suplementada com pelo menos uma fixa-

ção aparafusada por painel (figura 38). Esta alternativa pode ser utilizada também para a fixação de painéis compósitos (BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998).



Figura 38 - Suporte dos painéis com pinos secretos.

Uma outra alternativa de fixação das placas perfiladas se faz através de pinos ocultos, que permitem uma fácil remoção para inspeção, reparo e/ou reposição, porém ela deve ser suplementada com pelo menos uma fixação aparafusada por painel (figura 38). Esta alternativa pode ser utilizada também para a fixação de painéis compósitos (BLANC *et al.*, 1993; BROOKES, 1998; HARRISON; VEKEY, 1998).

A fixação de painéis compósitos utiliza, na maioria das vezes, uma pistola de pressão e parafusos auto-aparafusáveis e autogrampeáveis. Os parafusos devem ser dimensionados corretamente, geralmente com 1,5 mm a 12,5 mm de comprimento (CIRIA_b, 1992), de acordo com a espessura do painel compósito, de maneira a evitar deformações nas placas metálicas por excesso de aperto.

Podem-se especificar acabamentos de encaixe macho e fêmea, para fixação mecânica ou ainda utilizar cantoneiras secretas de fixação (BLANC *et al.*, 1993).

Os parafusos para fixação dos painéis metálicos perfilados e compósitos podem ser em aço inoxidável, em *nylon* ou em polipropileno,

porém as fixações em *nylon* e em polipropileno possuem pouca resistência ao fogo. As fixações, basicamente, suportam carregamentos causados por movimentações térmicas e cargas de ventos e são responsáveis pela segurança estrutural do sistema, seja nas conexões entre painéis ou entre o painel e a estrutura. Parafusos em aço carbono ou em alumínio nunca devem ser especificados, pois podem provocar corrosão galvânica e o aparecimento de manchas nas placas metálicas (CIRIAb, 1992; HARRISON; VEKEY, 1998; DE MATTEIS; LANDOLFO, 1999).

4.2.1 - Fachadas tipo *Rainscreen*

Os painéis metálicos ainda podem ser utilizados como fachadas tipo *rainscreen* (proteção de chuva), projetados com a finalidade de resistir à ação das intempéries e de agentes agressivos. O painel *rainscreen* resulta da combinação de painéis laminados por passagem de rolos e painéis laminados por pressão (figura 39).

O sistema consiste em uma chapa plana de alumínio de 4 a 6 mm de espessura colocada à frente de um painel sanduíche laminado, de modo a formar uma cavidade (2 a 3 cm) permanentemente ventilada entre as duas partes (MARSH, 1977; BROKES, 1998). Os painéis externos funcionam como um escudo que protege os painéis sanduíche da ação do meio externo. Estes, por sua vez, são responsáveis pelo desempenho termo-acústico do conjunto.

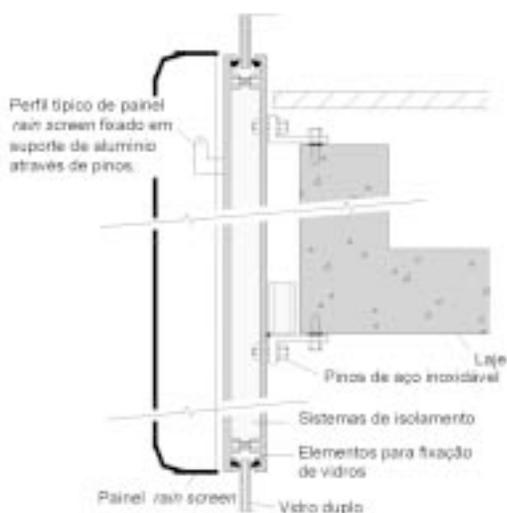


Figura 39 - Corte esquemático de painel com rainscreen (a partir de BROOKES, 1998).

Os perfis que auxiliam o enrijecimento das placas metálicas devem ser dimensionados de forma a evitar amassamentos e distorções nas lâminas de alumínio. O tamanho dos painéis é limitado pelo tamanho máximo das lâminas de metal e pela distância entre suportes. Alguns cuidados com as juntas dos painéis internos são necessários, de modo a impedir a entrada de umidade, ar e água (BROOKES, 1998). As juntas entre os painéis rainscreen devem ser abertas, com 10 mm ou mais, para permitir o movimento térmico e para drenar e impedir que a água penetre na cavidade ventilada e atinja o painel interno. Pequenos orifícios mantêm o equilíbrio de pressões com o exterior e dificultam a penetração da água.

Na montagem, os painéis *rainscreen* são ajustados para receber as divisões verticais fixadas exteriormente na edificação. A estrutura do edifício é normalmente isolada da estrutura do fechamento (secundária) com fibra vegetal. Então, os painéis são fixados através de suportes de aço inoxidável, externos ou chumbados na estrutura ou na parede em alvenaria (figura 40). É importante que os fixadores das lâminas metálicas externas também permitam o movimento térmico (MARSH, 1977; BROKES, 1998).

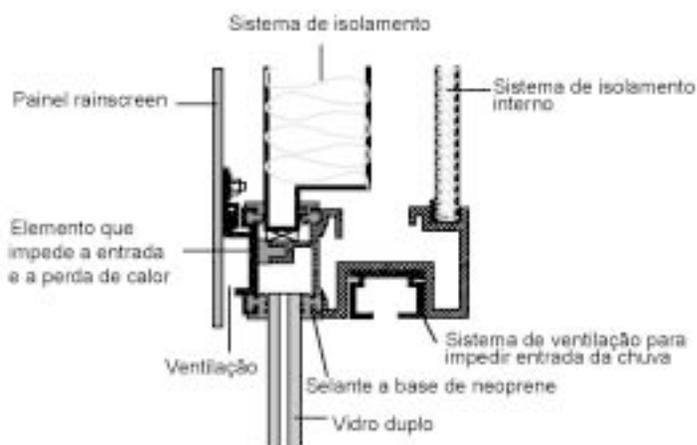


Figura 40 - Detalhe típico de fixação de painéis com rainscreen (a partir de BROOKES, 1998).

Os efeitos do vento nas bordas dos produtos, na parte interna da cavidade com as juntas abertas, têm mostrado flutuações na pressão do vento que são transmitidas diretamente

à parede original. Os fabricantes precisam ser consultados quanto à resistência que seus painéis apresentam em relação aos efeitos do vento, sobretudo quanto à especificação dos elementos de fixação e das características necessárias da base de apoio.

Algumas questões relativas à propagação do fogo através das cavidades são relevantes. É importante prever a interrupção da passagem das chamas entre os pavimentos e ao redor da janela. A redução da profundidade da cavidade reduz a possibilidade de expansão das chamas, mas, por outro lado, deve-se garantir uma intensidade de movimento do ar que assegure a ventilação adequada do sistema e evite o acúmulo de umidade intersticial (BROOKES, 1998).

Capítulo 5

Painéis de gesso
acartonado

Painéis de gesso acartonado

A divisória de chapas de gesso acartonado é um sistema de vedações internas composto por chapas leves em gesso montado sobre cartão (acartonado), estruturadas por perfis metálicos ou de madeira, fixas ou desmontáveis e geralmente monolíticas. O quadro 14 apresenta as vantagens e desvantagens da utilização de painéis de gesso acartonado em relação à vedação em alvenaria tradicional.

Quadro 14 - Vantagens e desvantagens dos painéis de gesso acartonado (a partir de SABBATINI, 1998c; SILVA et al., 1999).

Vantagens
Menor massa, proporcionando um menor peso próprio das vedações a ser transferido para as fundações.
Possibilidade de ganho de área pela menor espessura das paredes.
Execução e acesso simplificado para facilidade de manutenção das instalações hidráulicas e elétricas, devido à vedação oca e estruturada por perfis.
Possibilidade de ajuste do nível de desempenho acústico por variação da configuração (lã de vidro + placa adicional).
Superfícies curvas são possíveis mediante umedecimento para conformação do cartão.
Plano e qualidade superficial permitem a aplicação direta do acabamento.
Se a utilização for bem planejada, redução do volume de perdas de material.
Rapidez de execução de fechamento.

Desvantagens/limitações
Sensibilidade à umidade é uma das características mais críticas, podendo comprometer o desempenho e a durabilidade das divisórias.
Ausência de kits completamente resolvidos para instalações de água.
Dificuldade de localização de vazamento pelo fato de a parede ser oca.
Não há nenhuma proteção para o cartão e os perfis metálicos de enrijecimento na presença da água, mesmo com o uso das chapas de gesso com polímeros (verde).
As divisórias de gesso não podem ser empregadas como contraventamento da estrutura e exigem a colocação de armários e prateleiras em posições pré-determinadas.
A montagem das chapas só deve ser feita após a execução de revestimentos de argamassa, contrapiso e outros serviços úmidos.
Não é recomendável utilizar sobre painéis os revestimentos cerâmicos ou outros pouco deformáveis, essencialmente se aplicados com argamassa convencional.

A configuração em chapas acartonadas combina a resistência à compressão do gesso com a resistência à tração do cartão. No entanto, tanto um quanto o outro – além da própria estrutura de enrijecimento – são materiais que não se comportam adequadamente em meios submetidos à ação de umidade. Por esta razão, é definitivamente desaconselhável a utilização de chapas de gesso acartonado em meio externo ou nas áreas molháveis da edificação (MITI-DIERI FILHO, 1997; SABBATINI, 1998c; TANIGUTI, 1999; SILVA, 1999).

5.1 - Aspectos de fabricação

O gesso é misturado com água e aditivos para a moldagem das chapas. Posterior-

mente, as chapas recebem uma camada de cartão de cada lado e depois passam por uma guilhotina que as corta nas dimensões necessárias. Essas chapas são então, encaminhadas à secagem.

5.2 - Características técnicas

Dependendo da finalidade, as divisórias podem ser projetadas utilizando chapas simples ou duplas, de várias espessuras, normais, resistentes à água, ao fogo, anti-radiações, com ou sem isolante térmico (figuras 41 e 42).

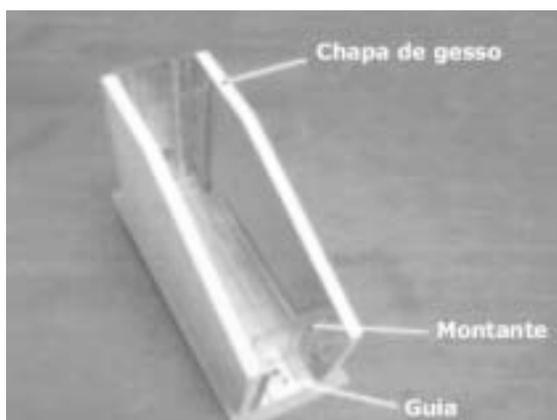


Figura 41 - Exemplo de vedação em chapas de gesso acartonado (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

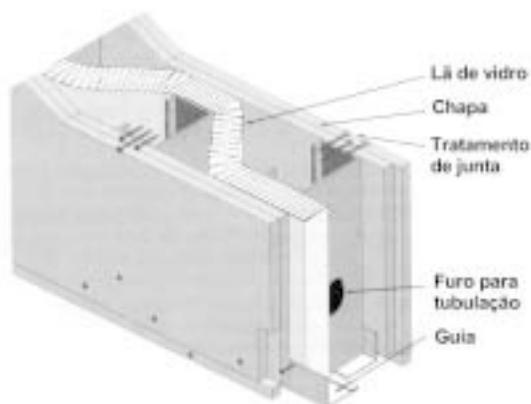


Figura 42 - Exemplo de vedação em chapas de gesso acartonado (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

De acordo com as necessidades específicas de aplicação, existem três categorias de chapas acartonadas, diferenciadas visualmente pela coloração do cartão:

- Chapa normal (padrão ou *standard*) – são chapas de gesso e cartão comuns, para emprego em divisórias sem exigências específicas de desempenho.

- Chapa hidrófuga (chapa verde) – para emprego em paredes internas da edificação sujeitas à ação de umidade (áreas molháveis). Gesso com adição de polímeros. A chapa recebe ainda um tratamento à base de silicone na superfície do papel cartão e na parte interna de gesso.

- Chapa resistente ao fogo (chapa rosa) - para divisórias com exigências especiais de resistência ao fogo, o gesso das chapas recebe adição de fibras minerais (incombustíveis).

As dimensões típicas das chapas de gesso acartonado são 1,20 m de largura por comprimentos de 2,60 a 3,0 m e espessuras de 12,5 mm, 15 mm e 18 mm. No Brasil, a chapa mais utilizada é a de 12,5 mm de espessura (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

Os perfis metálicos zincados importados possuem largura média de 60 mm, enquanto os nacionais estão sendo adaptados às características das chapas zincadas de fabricação nacional, de forma a produzir guias com largura nominal de 47 e 70 mm, montantes com largura nominal de 47 e 69 mm e abas laterais de 35 mm (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

As características gerais exigidas e as tolerâncias aceitáveis para as chapas de gesso acartonado são apresentadas no quadro 15.

Quadro 15 - Tolerâncias normalizadas para os painéis de gesso acartonado (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

Propriedades	Exigências (NP P 72 302)
Tolerância na espessura	± 0,4 mm
Tolerância na largura	+ 0 / -5 mm
Tolerância no comprimento	+ 0 / -5 mm
Densidade superficial	8,5 a 12,0 kg/m ²
Resistência à flexão transversal	0,21 kN
Resistência à flexão longitudinal	0,60 kN

5.3 - Aspectos de projeto e de construção

Para uma eficiente implantação do sistema de painéis de gesso acartonado é necessário incorporar, além dos aspectos do produto, as características do processo construtivo. Nesse sentido, para explorar o potencial de racionalização dessa tecnologia construtiva, o ideal é que o projeto das divisórias de gesso acartonado, assim como os projetos de estruturas e de instalações prediais, tenha início na etapa de anteprojeto do edifício e os vários projetos, desenvolvidos simultaneamente (TANIGUTI, 1999; BARROS, 1999b).

Devido à sensibilidade dos painéis de gesso acartonado à água, deve-se evitar:

- Contato da água com a divisória, recomendando-se que a chapa de gesso acartonado seja fixada pelo menos um centímetro acima do piso acabado.
- Emprego de chapas em contato com boxes, banheiras e bancadas de pia.
- Contato da parede externa com as divisórias, pois a parede está sujeita à água da chuva, que pode infiltrar até a chapa de gesso.

Para impedir o contato das placas de gesso com a umidade, recomenda-se que a execução da vedação interna seja realizada após conclusão do fechamento externo. Em ambientes laváveis, devem-se empregar placas hidrófugas e impermeabilizar a região de contato entre o piso e a divisória.

Um detalhe pouco lembrado é a necessidade de previsão de juntas de movimentação para evitar fissuração decorrente de movimentação higrotérmica em paredes com grande área de superfície. Recomenda-se uma junta de movimentação a cada 50m² em faces com chapa simples e a cada 70m² em faces com chapa dupla. Em nenhum caso a distância entre juntas deve ser superior a 15m (SILVA et al, 1999).

5.3.1 - Montagem

Os componentes básicos do sistema de

montagem de chapas de gesso acartonado são (MITIDIERI FILHO, 1997):

- Parafusos para fixação das chapas de gesso acartonadas à estrutura.
- Fita de papel reforçado, empregada nas juntas entre chapas ou em reforços ou em acabamento de canto.
- Massa especial para rejuntamento à base de gesso e aditivos, inclusive resinas que conferem maior trabalhabilidade e plasticidade.
- Cantoneiras metálicas para acabamento e proteção das chapas em cantos e em bordas cortadas.
- Lã de vidro para enchimento das paredes, visando melhor desempenho acústico.

A figura 43 ilustra a seqüência típica de montagem de divisórias em chapas de gesso acartonado.



Figura 43 - Seqüência de montagem de divisórias em chapas de gesso acartonado (a partir de TANIGUTI, 1999).

A execução das paredes de gesso acartonado inicia-se com a marcação e fixação das guias, no teto e no piso, a cada 60cm. Reserva-se espaço entre as guias na junção das paredes em L e T para a colocação das chapas de gesso (foto 44 a e b). A altura dos montantes deve ser 5mm menor que o pé-direito do vão e a fixação deve ser iniciada nas paredes laterais e nas guias. Os demais montantes são colocados verticalmente no interior das guias e posicionados a cada 40 ou 60cm (foto 44 - c e d). As chapas devem ter 1cm a menos que o pé-direito, com aberturas para instalações pré definidas, sendo aparafusadas encostadas no teto, deixando a folga na parte inferior (foto 44 e). As juntas de uma face da divisória devem ser desencontra-

das em relação às da face oposta (foto 44 f).

Reforços internos são necessários sempre que houver necessidade de fixar tubulações e outras peças suspensas (prateleiras, armários, bancadas, ganchos de rede etc). Conforme a natureza da carga, podem-se utilizar pequenas peças de madeira presas aos perfis, ou recorrer aos mesmos perfis utilizados na estruturação da parede. Em todos os casos, deve-se assegurar que é a estrutura da parede – e nunca as chapas de gesso – que receberá os esforços impostos.

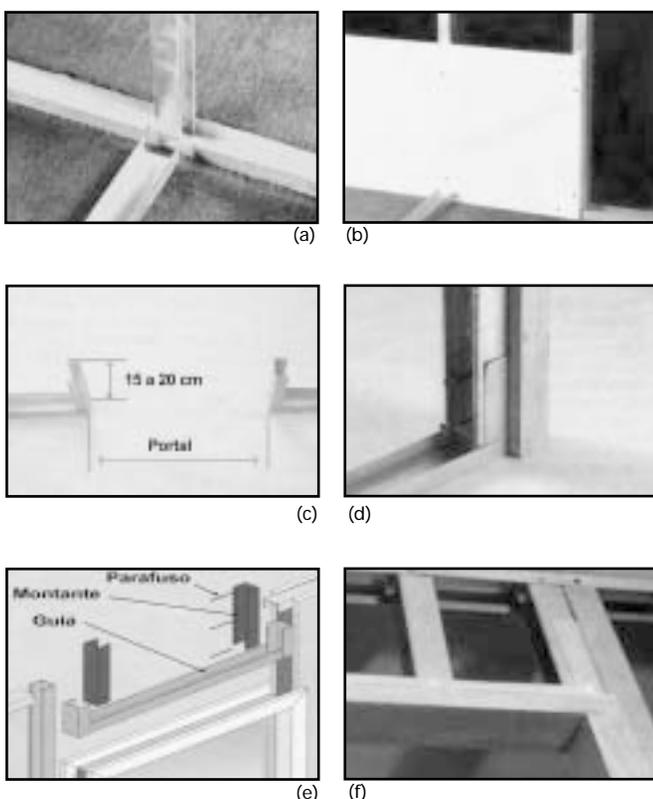


Foto 44 - Sequência de montagem: a e b colocação das guias, c e d colocação dos montantes, e folga entre chapas e piso (MITIDIÉRI FILHO, 1997) e f detalhe dos desencontros das juntas (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

5.3.2 - Juntas e Flixações

Nos encaixes entre as placas é utilizado um sistema de tratamento de juntas que resulta em uma superfície uniforme, monolítica e com flexibilidade para evitar trincas e fissuras do gesso. O tratamento de junta consiste na aplicação de massa de rejuntamento, colocação da fita de papel reforçado sobre o eixo da junta e impregnação com massa, pressionando firmemente, para eliminar o excesso de material com a espátula.

Após a secagem, fazer o acabamento aplicando uma fina camada de massa com uma desempenadeira (figura 44). Devido à deformação diferencial, recomenda-se fazer também um dimensionamento e especificação de juntas no encontro entre as divisórias e a estrutura.

Os encontros internos em L ou em T, podem ser acabados com a adoção da fita de papel reforçado e a massa de rejuntamento. Para evitar cantos vivos, os encontros externos precisam ser protegidos da ação de choques mecânicos adotando-se perfis metálicos especiais, fitas de papel com reforço em chapa de aço, ou perfis curvos (figura 45) (MITIDIÉRI FILHO, 1997).



Figura 44 - Tratamento de juntas entre chapas de gesso (a partir de MITIDIÉRI FILHO, 1997).

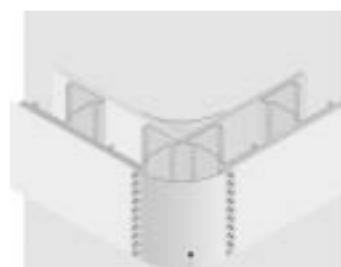


Figura 45 - Arremate de canto utilizando perfil curvo (a partir de MITIDIÉRI FILHO, 1997).

Os marcos das portas devem ser sempre fixados sobre os montantes das paredes, preferencialmente enrijecidos internamente com madeira. Na fixação, a guia inferior (foto 46 a e b) e a guia acima do marco (foto 46 c) devem ter abas viradas em 90°, com 20 cm de altura, de forma a conferir maior estabilidade aos montantes. Entre o marco e a estrutura do edifício deve ser colocado pelo menos um trecho de montante intermediário, para a fixação das chapas de gesso (foto 46 d). As ombreiras do marco devem ser fixadas aos montantes metálicos em pelo menos três pontos de cada lado, preferencialmente de forma alternada (MITIDIÉRI FILHO, 1997).

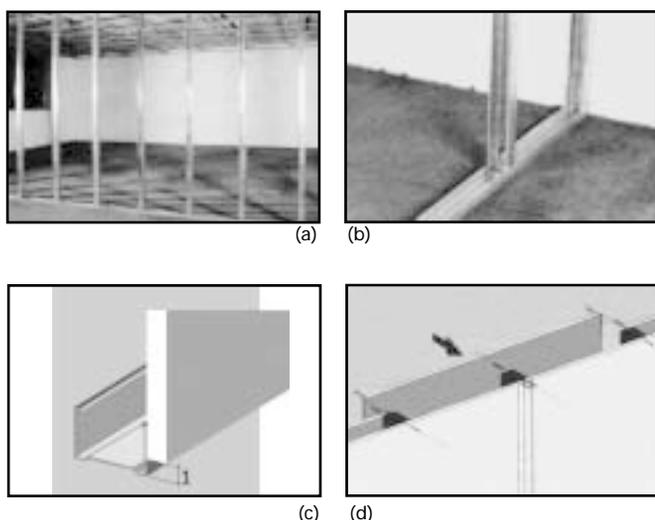


Foto 46 - Fixação dos marcos de portas (MITIDIARI FILHO, 1997).

5.3.3 - Acabamentos

O revestimento das chapas pode ser aplicado diretamente sobre o cartão. No caso de pintura lisa, a tinta não deve ser diluída. Além disso, de acordo com o acabamento requerido, pode haver necessidade de utilização de massa acrílica ou corrida.

A possibilidade de aplicação de revestimentos cerâmicos é citada nos manuais dos fabricantes, sendo porém importante lembrar que se deve utilizar argamassa colante especial (MITIDIARI FILHO, 1997; TANIGUTI, 1999), mais flexível e aderente devido à incorporação de resina e nunca adotar argamassas convencionais (SILVA et al, 1999).

5.4 - Desempenho de vedações em gesso acartonado

O desempenho acústico e desempenho contra fogo estão entre as principais virtudes da tecnologia de vedação em placas de gesso acartonado. Estranhamente, as principais reclamações identificadas entre construtores e usuários relacionam-se exatamente a estas características.

De forma geral, a divulgação de informações técnicas sobre as diferentes montagens de vedações em placas de gesso acartonado é insuficiente e gera o entendimento equivocado de

que desempenhos, que só podem ser atingidos por montagens especiais, são alcançados mesmo pela configuração mais simples. Esta divulgação imprecisa e muitas vezes superestimada do desempenho das placas de gesso acartonado gera uma insatisfação inevitável, que acaba afetando negativamente a imagem da tecnologia.

O desempenho acústico de vedações depende basicamente de sua capacidade de *isolar*, *absorver* ou *descontinuar* caminhos para a transmissão de som (pontes acústicas). O isolamento relaciona-se em grande medida com a *massa* da vedação, de sorte que os materiais mais indicados para esta finalidade devem ser densos, para resistir à vibração resultante da incidência das ondas sonoras. Conseqüentemente, a contribuição das vedações leves - entre elas o gesso acartonado - para o isolamento acústico é limitada.

Para compensar a limitação, é comum adicionar-se material absorvente acústico entre as faces da vedação. Neste caso, a dissipação de energia sonora processa-se principalmente pelo atrito gerado pela passagem do ar através dos poros do material absorvente, o qual deve ser leve, poroso e de baixa densidade.

A existência de pontes acústicas, por sua vez, depende das características de montagem do sistema de vedação. A maior redução sonora será obtida quando as ondas sonoras, que vibrem a face incidente, não encontrarem um meio físico contínuo para se propagarem através da estrutura de enrijecimento e vibrarem a face oposta atingindo, finalmente, o ambiente anexo.

De modo geral, os fabricantes oferecem montagens especiais variando a espessura de gesso (chapas duplas ou triplas), o tipo de estrutura de enrijecimento (simples ou dupla) e a espessura de material absorvente acústico²¹. Aumentar a espessura total das camadas de gesso aumenta relativamente a redução sonora proporcionada. Aumentar a espessura de material absorvente, por outro lado, eleva a absorção até um limite em que esta tende a estabilizar-se. Em divisórias com estrutura única, é praticamente impossível evitar as pontes acústicas, pois os montantes de enrijecimento acabam fazendo a ligação entre as faces. Como medida de contorno, alguns fabricantes oferecem estrutura de enrijecimento alternada (perfis desencontrados) mas,

21 - O sistema Placostil[®], da Placo do Brasil, oferece apenas uma espessura de lâ de vidro (50mm). Devido às exigências rigorosas de conforto acústico, a versão do sistema LAFARGE Pregymetal disponível no exterior oferece uma gama maior de opções (30, 45, 60, 70 e 90 mm).

quando exigências especiais de desempenho acústico são prioritárias, deve-se utilizar estruturas duplas, estando ciente das implicações decorrentes de custo e do aumento de espessura da parede.

Tomando por referência uma parede de alvenaria com espessura de 13 cm (bloco + reboco em ambos os lados) tem SRI²² \cong 44 dB, paredes de gesso acartonado com desempenho acústico equivalente²³ teriam espessura mínima de 10 cm (chapa simples, esp. 15 mm, com 50 mm de lâ de vidro) ou 9,8 cm (chapa dupla, esp. 2 x 13 mm, sem enchimento). As divisórias-padrão com espessura total de 7,2 cm (chapa simples) têm SRI=37 dB, o que garante apenas redução da inteligibilidade de conversas em voz alta (TEMPLETON; SAUNDERS, 1987).

É importante ressaltar que de nada adianta especificar corretamente o tipo de montagem a ser instalado, se for adotada a prática incorreta, encontrada em diversos edifícios brasileiros, de interromper as divisórias na altura do forro. O *plenum* gerado nessa configuração funciona como um grande canal de propagação, que leva diretamente o som de um ambiente ao outro. As divisórias devem vencer todo o pé-direito e serem isoladas das lajes ou vigas por um material resiliente, de modo a acomodar a deformação destes elementos estruturais sem permitir infiltrações de ar (e ruído). As aberturas para passagem de instalações são pontos críticos e as das tubulações de água devem, necessariamente, estar envolvidas por material absorvente.

Finalmente, quanto à questão da transmissão de som por impacto (percussão), acentuada em vedações tipo *hollow-core*, como as de gesso acartonado, verifica-se que o som oco resultante de batidas neste tipo de divisória é inevitável e nesse caso enfrenta-se mais uma questão cultural do que técnica propriamente, já que este som não necessariamente estará associado a um mau desempenho em relação ao som aéreo, como a propagação de vozes, por exemplo.

O desempenho contra fogo pode ser descrito segundo o grau de atendimento de duas propriedades: *reação ao fogo* e *resistência ao fogo*. A reação ao fogo é uma característica do

material, responsável por sua contribuição na sustentação da combustão, propagação superficial de chama e desenvolvimento de calor, fumaça ou gases nocivos. Já a resistência ao fogo é avaliada com base na estabilidade²⁴, estanqueidade e isolamento térmico dos componentes que compõem uma montagem do sistema de vedação (STOLLARD; JOHNSTON, 1994).

O material gesso apresenta um excelente desempenho contra o fogo por duas razões: primeiro, por tratar-se de um material mineral - e, portanto incombustível, o que dispensa as demais verificações de reação ao fogo. Segundo, por conter grande quantidade de água em sua composição²⁵ e o calor gerado pela elevação de temperatura durante um incêndio é inicialmente consumido para evaporação das moléculas de água, o que retarda o aquecimento e conseqüentemente, os danos à vedação.

Nas placas acartonadas, porém, este benefício é relativo, já que a espessura da camada de gesso é reduzida e sobre ela é aplicada uma camada de material combustível (cartão). A lâ de vidro utilizada como absorvente acústico é também incombustível, de modo que situações com maiores exigências acústicas terão naturalmente maior resistência ao fogo e vice-versa.

Assim, como não é suficiente utilizar as chapas de gesso com adição de polímeros em áreas úmidas, o simples fato de se utilizarem as chamadas *chapas resistentes ao fogo* não garante a resistência exigida pela maioria das normas²⁶ (TANIGUTI, 1999). Divisórias de chapa simples, sejam elas de gesso comum ou com adição de fibra mineral, têm exatamente a mesma resistência ao fogo (30 minutos). Novamente tomando como referência uma parede de alvenaria com espessura de 13 cm, a mesma resistência ao fogo de *120 minutos* só seria atingida por paredes com chapas duplas com adição de fibra mineral.

Além disso, há uma discussão no meio técnico quanto à maior facilidade de propagação de chamas no caso de adoção de *shafts*²⁷ que são muito empregados associados à tecnologia de painéis de gesso acartonado.

22 - Índice de Redução Sonora (Sound Reduction Index) é a relação entre a energia transmitida pelo anteparo e a energia total incidindo sobre ele.

23 - Dados extraídos do Caderno de Especificações de Paredes Placostil®, da Placo do Brasil. Catálogos de outros fabricantes podem trazer informações diferentes.

24 - Para vedações sem função estrutural, o requisito de estabilidade é substituído pelo de integridade, dada pela ausência de trincas ou deslocamento transversal excessivo ao final de ensaio padronizado (BERTO, 1988).

25 - Nas placas acartonadas, o gesso está na forma de dihidrato (CaSO₄ · 2H₂O).

26 - Decreto válido para o estado de São Paulo exige RF \geq 120 minutos; a NBR 9077 exige RF \geq 240 minutos (TANIGUTI, 1999).

27 - Para facilitar a manutenção de instalações prediais.

- ABREU, J. V., KATAR, J. E. *Produção de peças pré-moldadas de concreto*. 2° ed. Holdercim Brasil S. A., 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. *Standard practice for use of joint sealants*. ASTM C 1193. Philadelphia, 1991.
- 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 and cohesion of elastomeric joints sealants under cyclic movement*. ASTM C719. Philadelphia, 1993.
- ANDRIOLO, F.R. *Construções de concreto: Manual de prática para controle e execução*. São Paulo: Pini, 1984.
- 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.
- BARROS, M.M.B.; TANIGUTI, E.K. *Qualidade no projeto das divisórias de gesso acartonado*. In: *I Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho – SIBRAGEO*. Anais... Vol. I, p.339-347. Pernambuco: 1999 b.
- 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, 1998a. p. 249 – 285.
- BARTH, F. *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. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. London: Elsevier Applied Science, 1990. 449 p.
- BERTO, A.F. *Resistência ao fogo*. In: *Tecnologia de Edificações*. São Paulo: Pini/IPT. 1988. p. 361 – 364.
- 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. 180p.
- 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.
- Cem-FIL INTERNATIONAL LTD. *Cem-FIL News*, n° 47, 1994. 8p.
- Cem-FIL INTERNATIONAL LTD. *Cem-FIL Technical Data*. Merseyside, 1996. 6 p.
- CHEW, M. Y. L., IY, L. D. *Elastic recovery of selants*. *Building and Environmental – Elsevier Science Ltd., Great Britain: vol. 32, n° 3, p. 187 - 193, 1997*.
- CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA. *Wall technology: Performance requirements*. Special publication 87. London: CIRIA, 1992a. Volume A.
- CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA. *Wall technology: Large lightweight units on framed buildings*. Special publication 87. London: CIRIA, 1992b. 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, 1992c. 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, S. *Cast in Concrete: Reconstructed stone and precast concrete – A guide for architects*. London: Architectural Cladding Association, 1995. 99 p.
- DE MATTEIS, G., LANDOLFO, R. *Structural behaviour of sandwich panel shear walls: an experimental analysis*. *Materials and structures*, vol. 32, p. 331 – 341, June 1999.
- DORRIS, V. K. *Concrete into stone*. *Architecture*, July, 1993, p. 107- 113.
- FÉDÉRATION INTERNACIONALE DE LA PRÉCONTRAÎTE – FIP. *Prefabricated thin-walled concrete units: State of art report*. London: Thomas Telford Ltd., 1984. 33 p.
- 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, 1998a. 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, 1998b. 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.
- HAIRONVILLE. *Documentation interactive, CD-ROM*, 1° Edição, 1999.
- HANNANT, D.J. *Fibre Cements and Fibre Concretes*. New York: John Wiley & Sons, Ltd., 1978. 219 p.
- HARRIMAN, M. 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 fibre 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.
- KONCZ, T. *New technology spurs market for large panel precast concrete buildings*. *PCI Journal*, Jan./Feb. 1995. p. 30 – 42.
- KRÜGER, 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*.
- MAJUMDAR, A.J. *Fibre cement and concrete: A re-*

view. BRE Current Paper 26/75. Garston: Building Research Establishment, Mar. 1975. 16 p.

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

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

MARTEN, B. Worldwide application of glassfibre reinforced cement. In: Composite materials in building: State of the art, research and prospects. Anais... Milano: 1990. p. 258 – 266.

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

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

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

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

MITIDIERI FILHO, C. V. Paredes em chapas de gesso acartonadas. Como construir. Revista Técnica, n.º 30. São Paulo: EPUSP, 1997. 6 pp.

MOLLOY, H.J. Current North American GFRC technical practice and prospective future development. In: Symposium on Durability of Glass Fibre 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-fibre reinforced concrete and ferrocement. ACI Special Publication 124. Detroit: American Concrete Institute, 1990. p. 157 – 182.

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 (publicado em CD-ROM).

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.

PEREIRA, T. C. A. Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de vedação para edifícios com estruturas metálicas. Vitória: 2001. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.

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

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

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

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).

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.º 86, p. 20 – 21, Dez./Jan. 1997.

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, 1998b. 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, 1998c. p. 67 – 94.

SATO, N. M. N. Painéis de lâ de vidro e de lâ de rocha para fins de isolamento térmica. In: Tecnologia de edificações/projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988a. p. 515 - 518.

SATO, N. M. N. Propriedades do poliestireno expandido, do poliestireno extrudado e da espuma de poliuretano para fins de isolamento térmica. In: Tecnologia de edificações/projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, divisão de edificações do IPT, 1988b. p. 511 – 514.

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 6th GRCA Biennial Congress – Oct. 1987).

SILVA, M.G. Influência da cura térmica em pastas e argamassas de cimentos de escória de alto-forno. São Paulo: 1998a. 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. Alternativas racionalizadas para vedação de estruturas metálicas. Vitória: 1999. / Notas de aula de curso homônimo, promovido pelo NEXEM/UFES.

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

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.º 6, p. 16 – 20, 1998.

SOUZA, U. 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.

STOLLARD, P.; JOHNSTON, L. Design against fire. An introduction to fire safety engineering design. London: Ed. E&FN Spon, 1994. 172 pp.

TANIGUTI, E.K. Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado. São Paulo: EPUSP, 1999. (Dissertação de Mestrado).

TEMPLETON, D; SAUNDERS, D. Acoustic Design. The Architectural Press, London: 1987. 152 pp.

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

TRUE, G.F. Glassfiber reinforced cement permanent formwork. Concrete, p. 31 – 33, Feb./1985.

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