

Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas



Fabiana Andrade Ribeiro
Mercia Maria Semensato Bottura de Barros



Marcelo Scandaroli

Fabiana Andrade Ribeiro é Engenheira Civil (1999) pela Universidade FUMEC de Belo Horizonte e mestre (2006) pela Escola Politécnica da USP. Atua desde 1998 em consultoria, projetos e acompanhamento de obras nas fases de revestimento. É sócia-gerente empresa FCH Consultoria e Projetos que atua no desenvolvimento de projetos de alvenarias e revestimentos. E-mail: fabiana.ribeiro@fchconsultoria.com.br



Marcelo Scandaroli

Mercia Maria Semensato Bottura de Barros Possui graduação em Engenharia Civil, pela Universidade Federal de São Carlos (1985), mestrado (1991) e doutorado (1996) em Engenharia de Construção Civil e Urbana, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Docente do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde ministra disciplinas de graduação e pós-graduação. Tem realizado pesquisas financiadas por diversas agências de fomento e parceria do setor privado (construtoras e indústrias de materiais de construção), com ênfase em Desenvolvimento Tecnológico e Gestão da Produção de Edifícios, principalmente com os temas vedações e revestimentos.

Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas

Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas

Fabiana Andrade Ribeiro

Mércia Maria Semensato Bottura de Barros



© COPYRIGHT EDITORA PINI LTDA

Todos os direitos reservados.

É proibida a reprodução total ou parcial deste volume, de qualquer forma ou por quaisquer meios, sem o consentimento expresso da editora.

Coordenação de Manuais Técnico
Josiani Souza

Revisão
Luciane Gomide

Diagramação
Triall Composição Editorial Ltda.

Este livro foi catalogado na Câmara Brasileira do Livro.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Ribeiro, Fabiana Andrade

Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas / Fabiana Andrade
Ribeiro, Mercia Maria Semensato Bottura de Barros. – São Paulo: Pini, 2010.

ISBN 978-85-7266-225-3

1. Construção 2. Juntas de movimentação em revestimentos de fachadas 3. Materiais de construção 4. Revestimento em cerâmica I. Barros, Mercia Maria Semensato Bottura de. II. Título.

10-02385

Índice para catálogo sistemático:

CDD-691.4

1. Revestimentos cerâmicos de fachadas:
Construção civil: Materiais: Tecnologia
691.4



EDITORA PINI LTDA

Rua Anhaia, 964 – 01130-900 – São Paulo – SP – Brasil

Telefone: (11) 2173-2300 Fax: (11) 2173-2466

www.piniweb.com – manuais@pini.com.br

1ª edição, 1ª tiragem, abr/10



Prefácio

Revestimentos cerâmicos aplicados nas fachadas de um edifício agregam valor ao bem, como atestam os anúncios imobiliários, os quais procuram relacionar o uso desses revestimentos ao valor intrínseco de um produto de alta qualidade. No entanto, a elevada incidência de sérios problemas patológicos que vêm ocorrendo nesses revestimentos, nas últimas décadas, tem prejudicado o seu emprego, a ponto de hoje muitas empresas evitarem seu uso, temendo se defrontar com problemas, tais como, colapsos (quedas, rupturas localizadas) e perda de estanqueidade. Quando ocorrem em um tempo curto, além dos prejuízos econômicos sobrevêm prejuízos intangíveis na imagem das empresas empreendedora e construtora. A queda de um revestimento de fachada impacta fortemente na segurança de utilização do edifício, pelo risco de perda de vidas humanas e, quando essa ocorre em um prazo inferior ao da vida útil esperada, em sendo decorrência de um erro de projeto, pode obrigar ao fornecedor do bem a reparar a totalidade dos prejuízos patrimoniais e extrapatrimoniais sofridos pelo consumidor.

Mas o que tem provocado essa elevada incidência de problemas patológicos? Analisando as causas primárias desses problemas, verifica-se que elas decorrem em sua quase totalidade de decisões de projeto e de construção equivocadas, com origem no desconhecimento técnico, de certa forma generalizado, de todos os agentes da cadeia de construção de edifícios sobre como projetar e construir de modo a evitar patologias. Esse desconhecimento é resultado da carência de pesquisas no tema, da ausência de publicações focadas na tecnologia desses revestimentos e na pobre disseminação dos conceitos que fundamentam as decisões técnicas durante as etapas de projeto, construção e uso das edificações.

Este livro tem por objetivo suprir parte dessas deficiências, ao abordar de forma sistêmica a tecnologia de projeto e execução de revestimentos cerâmicos de fachada e ao focar, em profundidade, um dos assuntos, cujo desconhecimento técnico é mais amplo – o das juntas de movimentação. Esses componentes dos revestimentos de fachada têm grande importância no desempenho ao longo da vida útil desse subsistema, por proporcionar o alívio das tensões induzidas princi-

palmente por movimentações termo-higroscópicas e da base e que se não forem dissipadas podem provocar desde uma ruptura localizada até um amplo colapso dos revestimentos.

O livro é fruto de um trabalho de pesquisa da Engenheira Civil Fabiana Andrade Ribeiro, que durante quatro anos dedicou-se a aprofundar o conhecimento do tema, e contou com a orientação técnica e acadêmica da coautora Professora Doutora e Engenheira Civil Mercia Maria Semensato Bottura Barros.

A Professora Mercia vem se dedicando ao estudo dos revestimentos cerâmicos há mais de vinte anos, tendo realizado seus trabalhos no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. É autora de inúmeros trabalhos abordando temas relacionados à tecnologia de revestimentos e produziu textos que são referências fundamentais em língua portuguesa para aqueles que pretendem aprofundar o conhecimento sobre revestimentos. Participou, como coordenadora de Projetos de Pesquisa, dos convênios Universidade-Empresa entre a Politécnica e a Construtora Encol, e os textos produzidos naquela época são até hoje utilizados na formação de técnicos nas escolas de Engenharia e Arquitetura do País.

Neste livro, as autoras abordam de forma sistêmica e em linguagem didática o estado da arte atual da tecnologia de revestimentos cerâmicos de fachada, conduzindo o leitor a refletir e compreender os conceitos que vão possibilitar ter um domínio dessa tecnologia e permitir que tome decisões tecnicamente fundamentadas, de modo a evitar os problemas patológicos, seja na etapa de projeto como na da construção.

Na forma de capítulos, são estudados os mais importantes aspectos do subsistema de revestimentos de fachada. Inicialmente, são apresentados os conceitos que caracterizam os revestimentos de edificações, como esses se comportam ao longo do tempo e como são, também, identificados os fatores que originam as tensões nos revestimentos que podem resultar em colapsos. Na sequência, é apresentado um aprofundado conjunto de conhecimentos sobre juntas de movimentação que, no geral, é um assunto quase que desconhecido no Brasil, o que nos ajuda a entender o porquê da enorme ocorrência de problemas patológicos em fachadas. São estudados também os materiais empregados na selagem de juntas, analisando-os conjuntamente às técnicas construtivas adequadas para propiciar o desempenho esperado para as juntas de movimentação ao longo do tempo. Nos capítulos centrais, são abordados: o projeto de juntas, onde todo o conhecimento anterior é empregado para, na prática, conceber as juntas, visando otimizar o desempenho dos revestimentos e como executar as juntas para que tenham o desempenho adequado.

Acreditamos que este texto, além de se constituir em um livro-texto para as escolas de engenharia e arquitetura, seguramente ajudará todos aqueles envolvidos com a cadeia da construção (os produtores de placas cerâmicas, argamassas e selantes; os projetistas e especificadores; os incorporadores, órgãos públicos, construtoras e empresas executoras) a compreender os fenômenos envolvidos e o que deve ser feito para garantir a durabilidade, o desempenho e a fim de evitar a ocorrência de problemas patológicos nesse importante subsistema do edifício.

Prof. Dr. Fernando Henrique Sabbatini



Sumário

Apresentação	11
Resumo	13
 CAPÍTULO 1	
Introdução	15
 CAPÍTULO 2	
Caracterização do Sistema de Revestimento	21
2.1 Base	24
2.2 Emboço	24
2.3 Camada de fixação	28
2.4 Camada de acabamento	30
2.4.1 Placas cerâmicas	31
2.4.2 Juntas de assentamento	34
2.5 Detalhes construtivos	35
 CAPÍTULO 3	
Comportamento dos Revestimentos	37
3.1 Movimentos e tensões	37
3.2 Fatores que originam movimentos e tensões nos revestimentos	40
3.2.1 Variação de temperatura	41
3.2.2 Ação da umidade	46
3.2.3 Deformações da estrutura	49
3.2.4 Ação do vento	52

3.3 Acomodação dos movimentos.....	53
3.4 Considerações finais do capítulo	57

CAPÍTULO 4

Juntas de Movimentação Seladas	59
4.1 O que são juntas?	59
4.2 Funções das juntas em revestimentos.....	60
4.3 Classificação das juntas de movimentação em revestimento	61
4.3.1 Quanto à função	63
4.3.2 Quanto ao tratamento.....	65
4.3.3 Classificação quanto ao acabamento	65

CAPÍTULO 5

Constituição das Juntas de Movimentação Seladas	67
5.1 Substrato.....	67
5.2 Membrana impermeabilizante	69
5.3 Limitador de profundidade.....	69
5.4 Fita isoladora.....	71
5.5 Primer	72
5.6 Selantes.....	73
5.7 Propriedades e controle de qualidade dos selantes.....	75
5.7.1 Capacidade de movimentação	75
5.7.2 Recuperação elástica	76
5.7.3 Módulo de elasticidade	76
5.7.4 Dureza	76
5.7.5 Adesão e coesão	77
5.7.6 Resistência ao envelhecimento.....	78
5.7.7 Manutenção da cor e compatibilidade.....	78
5.8 Tipos de selantes.....	79
5.8.1 Selantes acrílicos.....	79
5.8.2 Selantes de poliuretano	80
5.8.3 Silicones	80
5.8.4 Silicones híbridos.....	81
5.8.5 Considerações finais	81

CAPÍTULO 6

Desempenho de Juntas Seladas.....	83
6.1. Requisitos de desempenho das juntas seladas.....	83
6.1.1. Durabilidade	83
6.1.2. Acomodação de movimentos.....	84
6.1.3. Estanteidade	85
6.1.4. Estética.....	85

6.2. Defeitos em juntas seladas.....	86
6.2.1. Perda de adesão do selante.....	86
6.2.2. Falha coesiva do selante.....	88
6.2.3. Enrijecimento e craquelamento do selante.....	88
6.2.4. Manchamento do selante.....	89

CAPÍTULO 7

Projeto de Juntas em Revestimentos.....	91
7.1 Avaliação da edificação e das condições de exposição.....	92
7.2 Dimensionamento de juntas.....	96
7.2.1 Posicionamento.....	96
7.2.2 Abertura da junta: largura e profundidade.....	102
7.3 Seleção dos materiais.....	106
7.3.1 Escolha do selante.....	106
7.3.2 Especificação do <i>primer</i>	111
7.3.3 Especificação do limitador de profundidade.....	111
7.3.4 Especificação da fita isoladora.....	112

CAPÍTULO 8

Orientações para Execução das Juntas.....	113
8.1 Atividades que antecedem a execução.....	114
8.1.1 Planejamento do trabalho: prazos entre etapas.....	114
8.1.2 Ferramentas e equipamentos.....	114
8.2 Abertura da junta.....	116
8.3 Membrana impermeabilizante.....	119
8.4 Proteção durante o assentamento do revestimento cerâmico.....	121
8.5 Preparo dos substratos.....	121
8.5.1 Limpeza.....	121
8.5.2 Proteção das bordas.....	123
8.5.3 Imprimação.....	124
8.6 Posicionamento do Limitador de profundidade.....	126
8.7 Aplicação do selante.....	126

Refrências Bibliográficas.....	133
--------------------------------	-----



Apresentação

O objetivo fundamental do emprego de juntas no sistema de revestimento cerâmico de fachada está relacionado principalmente ao aumento da capacidade de absorver deformações que se busca desse subsistema. Entretanto, como componente deste, é preciso que as juntas de movimentação tenham capacidade de cumprir os mesmos requisitos de desempenho dos revestimentos cerâmicos de fachadas. Desse modo, além dos requisitos funcionais de acomodação dos movimentos, este elemento necessariamente precisa ser estanque e manter a integridade física do revestimento, contribuindo assim para a manutenção da estética ao longo da vida útil do edifício.

A produção das juntas de movimentação, as quais possuem a função precípua de dissipar as tensões do subsistema, ser estanques e duráveis sob agressivas condições de exposição, pode ser considerada, portanto, de tecnologia bastante particular, pois demanda, para a sua especificação, conhecimentos da engenharia estrutural e da tecnologia de construção, uma sólida base sobre o comportamento dos materiais, além dos inúmeros pormenores envolvidos em sua execução que também devem ser dominados; por isso mesmo, deve ser uma etapa mais valorizada no conjunto dos projetos do edifício. Além disso, as juntas de movimentação

são compostas por materiais mais suscetíveis à degradação que os demais materiais constituintes do próprio sistema de revestimento.

A experiência internacional na produção de junta é valiosa, pois traz informações históricas dos diversos motivos de erros e acertos na especificação e na execução de juntas de movimentação seladas. Os países que dominam essa tecnologia pesquisam há muitos anos o tema, com abordagens sob o ponto de vista estrutural e de durabilidade dos materiais, e valorizam este componente da construção como se fosse um subsistema independente, tratando-o em um projeto específico que inclui também o projeto de resselamento.

A experiência nacional, ainda que incipiente, também reúne casos de sucessos e insucessos no selamento de juntas de movimentação em fachadas de edifícios.

Neste trabalho, buscou-se sistematizar as informações disponíveis sobre as juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas, acrescentando-se a elas a experiência das autoras. Espera-se que com o seu resultado seja possível contribuir para a consolidação do conhecimento desse elemento do revestimento, como também com aqueles que atuam na área de projetos de revestimentos.



Resumo

Os revestimentos de fachadas têm sido objeto de preocupação de empresas incorporadoras, construtoras e administradoras de condomínios, seja pelo custo que representam, seja porque neles são manifestadas muitas patologias, sendo as fissuras e os destacamentos muito comuns, o que, além de resultar em importantes prejuízos materiais, pode resultar também em prejuízos à imagem da empresa e, por vezes, colocar em risco a vida.

Eliminar ou ao menos minimizar a incidência desses problemas exige uma adequada tecnologia de produção que resulte em um revestimento com maior capacidade de absorver deformações, o que vem sendo obtido principalmente pelo emprego de materiais mais adequados e de detalhes construtivos, tais como juntas de movimentação e telas de reforços.

No entanto, para que funcionem adequadamente, esses detalhes construtivos demandam uma tecnologia construtiva particular para que não se constituam numa nova fonte de problemas.

O objetivo deste livro é tratar a tecnologia de produção das juntas de movimentação em revestimentos de fachadas, a fim de melhor entender esse detalhe construtivo e estabelecer a boa prática de execução.

Para isso, foi dado enfoque nas informações sobre o comportamento dos revestimentos de fachadas que leva à necessidade

de utilizar juntas de movimentação; nos requisitos de desempenho das juntas e propriedades dos seus constituintes para atendimento desses requisitos; nas causas e nos métodos de prevenção de falhas nas juntas e nos métodos de ensaios para controle da qualidade dos materiais utilizados no selamento. Ao final, propõe-se um caminho para o processo de projeto para a produção das juntas de movimentação.

O trabalho está fundamentado em uma investigação da bibliografia nacional e internacional disponível sobre o assunto e na experiência das autoras no desenvolvimento e aplicação de projetos de revestimentos, além de entrevistas com projetistas e visitas em obras.

É fato que a tecnologia de produção de juntas de movimentação em revestimentos de fachada demanda, para a sua especificação, conhecimentos da engenharia estrutural e da tecnologia de construção, além de uma sólida base sobre o comportamento dos materiais e dos inúmeros pormenores envolvidos em sua execução que também devem ser dominados; por isso mesmo, deve ser uma etapa mais valorizada no conjunto dos projetos do edifício.



Introdução

O revestimento de fachada complementa as funções da vedação vertical, da qual faz parte, juntamente com as alvenarias e as esquadrias. Desse modo, cumpre nos edifícios as importantes funções de proteção contra a ação de agentes de deterioração, contribuindo para a estanqueidade à água e para o isolamento termoacústico, além de se constituir no acabamento, exercendo funções estéticas, de durabilidade e de valorização econômica.

No Brasil, os sistemas de revestimento de argamassa com acabamento em pintura ou com placas cerâmicas ainda são os métodos construtivos empregados na maioria das fachadas dos edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais.

Esses revestimentos de fachadas têm sido objeto de estudo de muitas empresas construtoras, seja por sua participação no custo final do edifício, por interferirem decisivamente no planejamento da execução ou, ainda, por serem uma importante fonte de problemas em edifícios (BARROS, 1998).

Uma pesquisa realizada pela Comunidade da Construção (2003), na cidade de Porto Alegre, constatou que ainda na etapa de execução, em 19% das obras, ocorre retrabalho pelo aparecimento de trincas e fissuras que respondem a 41% das patologias, seguidas por destacamentos, com 26%. Segundo esse mesmo

estudo, esses problemas serão também os principais contratempos ao longo da vida útil do edifício.

No caso dos revestimentos com placas cerâmicas, segundo Temoche-Esquivel, Barros e Simões (2005), a intensa ocorrência de problemas tem levado ao abandono da tecnologia, em particular, nas cidades não-litorâneas, como São Paulo.

A intensidade com que ocorrem os problemas em revestimentos de fachada pode ser explicada em função de serem o primeiro elemento da edificação a sofrer a ação das intempéries e variações nas condições climáticas, sendo solicitado por um ambiente cada vez mais agressivo. A foto apresentada na Figura 1.1 ilustra um exemplo do resultado da ação desses agentes de deterioração em uma fachada de um edifício.

Ressalta-se que, além de terem seus materiais degenerados pelos agentes externos, os revestimentos de fachadas, por trabalharem usualmente aderidos à base (estrutura e vedo), são também solicitados pelas ações decorrentes da sua movimentação, assim como por ações intrínsecas aos próprios revestimentos (contração e dilatação por variação de umidade ou temperatura, por exemplo).

Segundo Franco (1998), os revestimentos aderidos à base podem ser comprometidos pelas deformações das estruturas, pois o arranjo estrutural que leva ao uso de balanços, transições, apoios de pouca rigidez, solidarizações parciais, dentre outros, contempla o



FIGURA 1.1 Fachada de edifício deteriorada.

atendimento dos critérios de funcionamento da estrutura; mas, muitas vezes, não dos elementos que com ela têm interface.

Edifícios cada vez mais esbeltos, com grandes vãos dos elementos estruturais, são atualmente obtidos pela modelagem matemática mais precisa das estruturas e também pelo uso de materiais especiais como os concretos de alta resistência (Franco, 1998). Em decorrência disso, nos edifícios de múltiplos pavimentos, são impostas, às vedações verticais, deformações muitas vezes incompatíveis à sua capacidade de resistir a elas, o que resulta em fissuração excessiva do revestimento ou mesmo seu destacamento (SABBATINI, 1998; FRANCO, 1998; ABREU, 2001).

No caso dos revestimentos cerâmicos, cuja camada de acabamento é altamente rígida (placa cerâmica associada aos rejuntas), esse problema se torna mais crítico e, para que seja minimizado, uma alternativa é o emprego de um sistema de revestimento com capacidade adequada de absorver as deformações que lhe serão impostas ao longo de sua vida útil. Nesse caso, a adoção de juntas ao longo do revestimento é uma solução indicada por diversos documentos normativos, relativos às estruturas de concreto, como o ACI 504 R-90 (1997), a ABNT NBR 15575-2 (2008) e a ABNT NBR 6118 (2003).

Em revestimentos cerâmicos de fachadas, as juntas de movimentação constituem-se em detalhe construtivo concebido para evitar que tensões devidas às movimentações da estrutura, bem como as causadas pelas contrações e expansões dos materiais constituintes do sistema, sejam introduzidas e se propaguem pelo revestimento. Entretanto, os subsídios para especificação, projeto e sua execução não se encontram suficientemente sistematizados na literatura nacional, fazendo com que muitas decisões sejam tomadas no próprio canteiro de obra.

A normalização técnica nacional que aborda a execução de revestimentos de fachadas não tem foco para o projeto. No caso da ABNT NBR 7200 (1998), que trata da execução de revestimentos de argamassa, a responsabilidade pela definição das juntas é atribuída ao projetista. A ABNT NBR 13755 (1996), que trata dos procedimentos de execução de revestimentos com placas cerâmicas, estabelece distâncias padronizadas para a localização das juntas, independentemente da situação de aplicação ou do grau de exposição. Além disso, nessa norma, inexistem parâmetros para especificação e dimensionamento de juntas ou mesmo de reforços localizados em casos de concentração de tensões.

É fato que a especificação e a boa prática de execução de juntas em revestimentos não estão devidamente equacionadas, ocasionando diversos problemas nos revestimentos, como bem demonstra a pesquisa feita por Temoche-Esquivel (2002). Nesse trabalho, o autor estudou 330 empreendimentos na cidade de São Paulo e observou que grande parte das patologias em revestimentos cerâmicos surge nas juntas, como mostrado na Tabela 1.1.

TABELA 1.1 Ocorrência de problemas patológicos na região das juntas em revestimentos cerâmicos de fachada.

Descrição	Número de ocorrências	Porcentagem
Deterioração do selante das juntas por manchamento	107	32,6 %
Destacamento de placas cerâmicas na região das juntas	14	4,2 %

Fonte: [TEMOCHE-ESQUIVEL, 2002]

As figuras de 1.2 a 1.4 também ilustram a frequência com que ocorrem as manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas com origem nas juntas de movimentação.



FIGURA 1.2 Edifício residencial. Fachadas comprometidas por manchamento do selante.



FIGURA 1.3 (a) Edifício residencial. Fachada comprometida por manchamento do selante; (b) Detalhe do manchamento do revestimento e deterioração do selante.



FIGURA 1.4 Edifício residencial. Fachada com destacamento com início na região da junta de movimentação.

Por sua importância e complexidade, percebe-se o quanto a junta de movimentação tem de ser criteriosamente especificada e executada, a fim de que cumpra suas funções e de que não seja fonte de manifestações patológicas, sendo este o enfoque do presente trabalho.



Caracterização do Sistema de Revestimento

Independentemente do tipo ou da tecnologia empregada na sua produção, os revestimentos de fachadas devem cumprir suas funções e seus requisitos de desempenho. Essas funções foram sintetizadas por Sabbatini et al. (1990), como segue:

- **Proteger a edificação:** os revestimentos de fachada têm a função de proteger os vedos e a estrutura contra a ação direta de agentes agressivos, evitando a degradação precoce. Essa função está associada às exigências de durabilidade da edificação. Assim, o revestimento íntegro tem como papel aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios.
- **Auxiliar as funções da vedação:** os revestimentos de fachada auxiliam as vedações a cumprirem suas obrigações de proporcionar à edificação estanqueidade ao ar e à água e adequado desempenho termoacústico e de proteção contra a ação do fogo e intrusões.
- **Proporcionar acabamento:** os revestimentos definem as características estéticas do edifício, estabelecendo, muitas vezes, o seu valor econômico.

- **Integrar-se à base:** os revestimentos de fachadas têm também a função de acomodar pequenos movimentos diferenciais entre a alvenaria e a estrutura, devendo ser constituídos de modo que permaneçam, ao longo de sua vida útil, em perfeita interação

com a base. Um exemplo da falta do cumprimento dessa função é dado na Figura 2.1, na qual as fissuras ocorreram no encontro da alvenaria com a estrutura. Nesse edifício, também as características estéticas da vedação ficaram comprometidas.

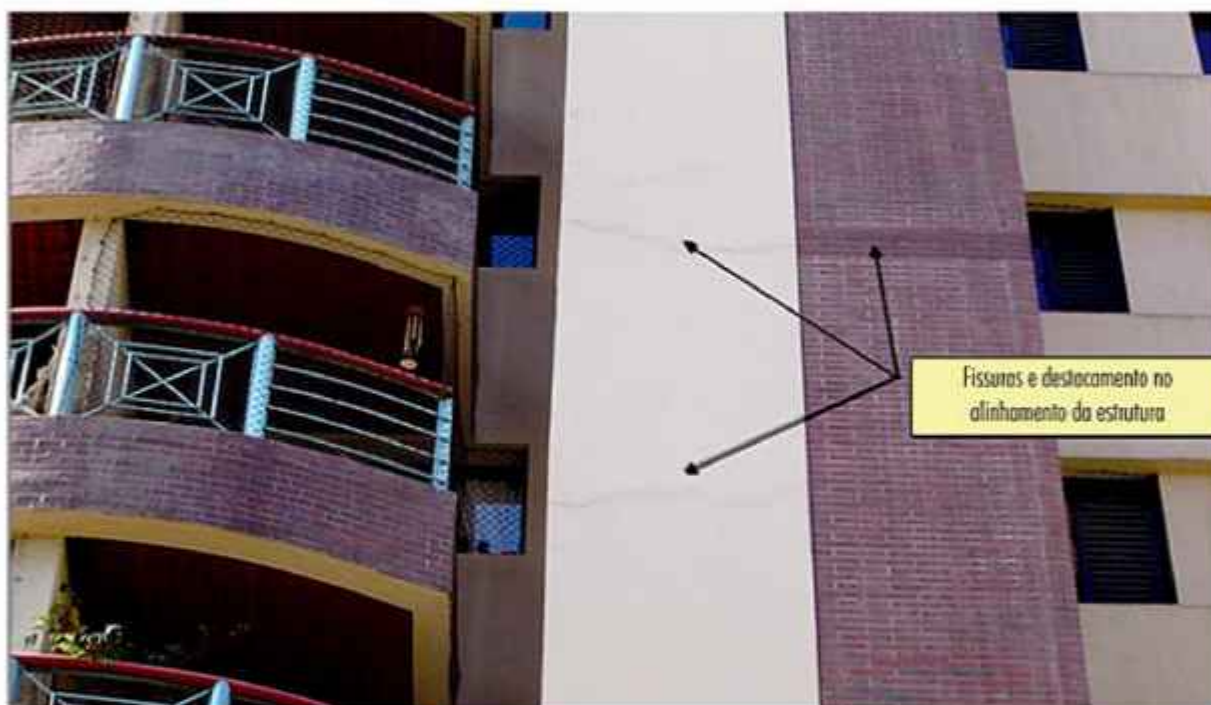


FIGURA 2.1 Revestimento de fachadas com interação deficiente com a base.

São diversos os revestimentos de fachada que podem cumprir as funções anteriormente elencadas e, dentre eles, destacam-se neste trabalho os revestimentos aderidos produzidos com placas cerâmicas.

Os revestimentos com placas cerâmicas, caracterizados conforme ilustra a Figura 2.2, possuem privilegiada durabilidade em razão da resistência contra a ação dos agentes agressivos ambientais dessas placas. Mesmo assim, o cumpri-

mento de suas funções somente é obtido pelo desempenho satisfatório do conjunto das camadas que o compõe.

A NBR 13755 (ABNT, 1996) define esse revestimento como um “conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura-suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação

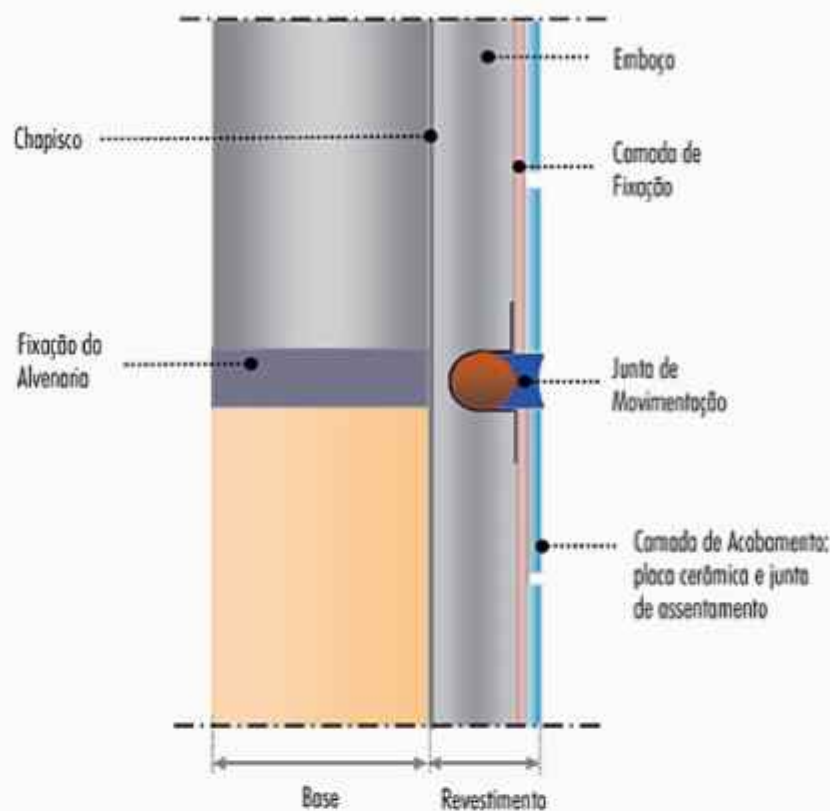


FIGURA 2.2 Ilustração das camadas constituintes do revestimento cerâmico de fachada.

conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético”.

Sobre essa definição, cabe fazer duas observações. A primeira é que a base, constituída pela estrutura-suporte e pelo vedo (ali denominado alvenaria), não é camada constituinte do revestimento, e sim a base sobre a qual o revestimento será aplicado. Outra observação é de que a definição da norma não faz referência às juntas de assentamento entre componentes e aos detalhes construtivos, como as juntas de movimentação. Apesar disso, esses elementos, dada a sua importância para o funcionamento do conjunto, são parte intrínseca do sistema de revestimentos cerâmicos de fachadas.

Buscando-se estabelecer uma definição mais precisa, neste trabalho, se

propõe que o revestimento cerâmico de fachada seja entendido como um conjunto de camadas superpostas de argamassa e de acabamento com placas cerâmicas, juntas de assentamento e detalhes construtivos, aplicado sobre uma base ou um substrato.

Por serem essas camadas de revestimentos constituídas por diferentes materiais e técnicas de execução, possuem também diferentes comportamentos diante das ações a que estarão sujeitas ao longo de sua vida útil, deformando-se mais ou menos em função de suas propriedades e das condições de restrição de seus movimentos. E, para que o comportamento do conjunto possa ser compreendido, uma abordagem sucinta das suas características, bem como das características da base, é feita nos itens que seguem.

2.1 Base

A base, substrato do sistema de revestimentos cerâmicos de fachada, é usualmente constituída pela estrutura de concreto e pelo vedo, usualmente de alvenaria de blocos cerâmicos, de concreto, de concreto celular ou sílico-calcários, sendo mais comuns os dois primeiros.

Embora não seja parte do sistema de revestimento, a base possui características que interferem diretamente no seu desempenho. Por isso, seu potencial de movimentação e de fissuração deve ser considerado na elaboração do projeto, o que será melhor discutido no capítulo 3.

Além disso, suas características superficiais de regularidade geométrica e de porosidade e sua própria constituição mineralógica também interferem no desempenho do revestimento, sendo determinante na resistência de aderência. Em função disso, deverá estar adequadamente preparada para receber a camada de revestimento.

Além do preparo tradicional da base com uma adequada limpeza, em fachadas de edifício, é usualmente aplicado o chapisco que, na maioria dos casos, permite o aumento da resistência de aderência do revestimento à base e melhora na estanqueidade do revestimento. Por isso, recomenda-se que seja sempre aplicado às

fachadas de edifícios que receberão revestimentos aderidos.

2.2 Emboço

O emboço, usualmente entendido como a camada que regulariza a base para proporcionar uma superfície adequada para aplicação das placas cerâmicas, cumpre outras importantes funções que integralizam as funções do vedo, como contribuir para a estanqueidade da fachada e absorver e dissipar as tensões originadas pelas movimentações da base.

Para tanto, essa camada, usualmente produzida com argamassa de base cimentícia, deve manter-se aderida à base, ser compatível com o acabamento decorativo, apresentar rugosidade uniforme e reduzida, apresentar-se sem imperfeições e ter espessura de 20 mm a 30 mm, entre outras características estabelecidas pela ABNT NBR 13749 (1996).

Algumas experiências em suprimir a camada de emboço do sistema de revestimento têm sido observadas em canteiros de obra brasileiros; mas, segundo Thomaz (2005)¹, quando isso ocorre, o desempenho mecânico do sistema de revestimento pode ficar aquém do esperado. Esse pesquisador, referindo-se à alta deformabilidade das estruturas de concreto armado de edifícios no Brasil, ressalta que, nos casos em que o emboço é suprimido, se torna muito provável

¹ THOMAZ, E. Palestra proferida por dr. Ércio Thomaz. *Desempenho estrutural de edifícios e interface com vedações verticais*, no Seminário Habitação Desempenho e Inovação Tecnológica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2005.

a ocorrência de fissuração e destacamento do revestimento cerâmico, uma vez que as tensões que são introduzidas pelas deformações da base serão, provavelmente, muito superiores à capacidade resistente da camada de acabamento constituída pela camada de fixação, pelas juntas entre componentes e pelas próprias placas cerâmicas.

Acrescenta-se aos comentários de Thomaz que a estanqueidade poderá ficar prejudicada, caso ocorram fissuras nas juntas entre componentes.

As diferenças geométricas que usualmente ocorrem entre a estrutura de concreto e a alvenaria de vedação raramente permitem que se aplique o revestimento cerâmico diretamente sobre o vedo ou a estrutura, suprimindo-se, por consequência, a camada de emboço. Entretanto, para esse processo construtivo, como bem salienta Thomaz, a supressão do emboço não é um procedimento recomendado. Pelo contrário, sua utilização é fundamental para o adequado funcionamento do revestimento.

No entanto, em nome da racionalização construtiva, a retirada da camada de emboço tem sido prática de algumas construtoras brasileiras no emprego de alvenaria estrutural.

É certo que, ao se produzir o edifício com alvenaria estrutural, é possível obter uma base com elevada regularidade geométrica e baixíssimo grau de deformações; no entanto, mesmo para esses casos, recomenda-se que se tome cuidados especiais para a aplicação da camada de revestimento cerâmico que

deverá ser ainda mais flexível que a executada sobre o emboço, buscando-se evitar, assim, patologias indesejáveis, seja por perda de aderência do revestimento, seja por perda de estanqueidade. Trata-se, pois, de uma tecnologia que exige um projeto específico que contemple as características intrínsecas de cada empreendimento, cuja prática não será abordada neste trabalho.

Algumas características do emboço relacionadas às deformações da camada, sobretudo sua resistência mecânica e sua capacidade de absorver deformações, são fundamentais. Essas características e demais aspectos relevantes da camada, pelas suas complexidade e importância, têm sido amplamente estudados. Foram tratados de maneira abrangente e profunda em trabalhos como os de Sabbatini e Barros (1989); Selmo (1989); Maciel (1997); e Bortoluzzo (2000) e não serão aqui discutidos.

Destaca-se que, para cumprir adequadamente suas funções, sem que ocorra fissuração ou destacamento no conjunto do revestimento cerâmico, essa camada deverá ter elevada capacidade de absorver as deformações, mantendo-se íntegra e com adequada resistência de aderência à base, de corpo e superficial, sobretudo, nesse sistema em que a camada de acabamento é constituída por placas cerâmicas.

Entre essas características, somente há requisitos normativos para a resistência de aderência da camada de emboço à base, definida pela ABNT NBR 13749 (1996). Essa norma determina que

a resistência de aderência à tração dessa camada seja de, no mínimo, 0,3 MPa. Essa propriedade do revestimento deve ser avaliada pelo método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 13528 (1995).

Destaca-se que o valor atribuído pela norma é um indicativo mínimo e não leva em conta a situação específica em que o revestimento está aplicado. Não considera, por exemplo, a altura do edifício, as condições de solicitação por intempérie a que está sujeito; a vida útil estabelecida para o revestimento; o potencial de deformação da base, dentre outros elementos importantes. Caberá, pois, ao projetista, incluir em sua análise todos esses elementos e estabelecer, a seu critério, o valor mínimo para

cada caso. Nesse sentido, registram-se projetos de revestimento cuja resistência de aderência à base foi estabelecida em patamares superiores, chegando-se a 0,8 MPa, por exemplo. Vale ressaltar que essa resistência de aderência, porém, somente será conseguida com produtos especiais tanto de preparo da base quanto da própria argamassa de emboço.

Outra característica do emboço é sua resistência superficial. Esta é particularmente importante, uma vez que muitos destacamentos de placas cerâmicas provêm de deficiências dessa interface com a camada de assentamento, usualmente a argamassa colante (RIBEIRO et al., 2004), como ilustra a Figura 2.3. A resistência superficial do



FIGURA 2.3 Ilustração de queda das placas cerâmicas e da camada de fixação da fachada de edifício por falha na interface da camada de fixação-superfície do emboço (Foto: ANGELO JUSTI).

emboço varia em função da argamassa empregada, da técnica de acabamento superficial, das condições do ambiente e do procedimento de cura.

Não existem limites normativos estabelecidos para essa propriedade; no entanto, ela vem sendo avaliada adaptando-se ao método de ensaio da ABNT NBR 13.528 (1995), proposto para avaliação da resistência de aderência². Avaliando-se a resistência de aderência superficial por esse método, aos 28 dias da produção do revestimento, Medeiros (2006) propõe alguns valores médios e mínimos (Tabela 2.1) estabelecidos em função da camada de acabamento.

Foi feito por Ribeiro e colaboradores (2004) um estudo que avalia o desempenho mecânico dos revestimentos cerâmicos a partir da resistência de aderência superficial do emboço em função das técnicas de acabamento superficial. Concluiu-se nessa avaliação que o acabamento desempenado pos-

sibilita melhor resultado que o acabamento sarrafeado, quanto à resistência de aderência. Assim, ainda que a ABNT NBR 13755 (1996) estabeleça que a camada de emboço para recebimento de placas cerâmicas possa ser simplesmente sarrafeada, não se recomenda esse tipo de acabamento, defendendo-se o emprego do acabamento com desempenadeira de madeira.

Não há outros parâmetros que permitam avaliar as características do revestimento. Há, sim, estudos feitos com as argamassas que serão empregadas como emboço, para as quais se busca estabelecer o módulo de elasticidade, a resistência à tração e à compressão, que influenciam na capacidade de absorver deformações do revestimento e na própria resistência de aderência. Entretanto, até o momento, não há valores normativos para essas grandezas, os quais deverão ser estabelecidos pelo projetista em cada caso.

TABELA 2.1 Resistência de aderência superficial do emboço, em função da camada de acabamento.

Camada de acabamento	Valor médio (MPa)	Valor mínimo
Porcelanato	0,80	0,60
Grês	0,70	0,50

Fonte: MEDEIROS, 2006.

² A principal adaptação do método consiste em não se cortar o revestimento para constituir o corpo de prova. A pastilha utilizada para o ensaio deve ser colada diretamente na superfície do revestimento.

2.3 Camada de fixação

A camada de fixação é responsável pela aderência das placas cerâmicas ao seu substrato (emboço); portanto, cabe a ela resistir às tensões de tração e cisalhamento que ocorrem nessa interface.

Segundo o Tile Council of America (TCA, 2008), os materiais indicados para a camada de fixação são as argamassas tradicionais de areia e cimento; as argamassas colantes cimentícias (monocomponentes) e as argamassas colantes cimentícias modificadas com látex ou resinas em pó (bicomponentes). Esse organismo também indica os materiais não cimentícios, como as argamassas e os adesivos epóxicos, e as argamassas de resina furânica que proporcionam resistência química e cura rápida não obtida nas argamassas cimentícias. Entretanto, esses produtos são indicados em situações especiais, pois têm custo muito superior ao das argamassas cimentícias, além de exigirem mão de obra muito especializada para sua aplicação.

A fixação pode acontecer por processo de aderência mecânica, adesão química ou por ambos. Na aderência mecânica, ocorre a ancoragem da pasta de cimento nos poros do emboço e da placa cerâmica; enquanto, no processo de adesão química, a fixação ocorre pela ação de forças eletrostáticas entre as moléculas do adesivo e as moléculas dos materiais a serem unidos.

As argamassas tradicionais de cimento e areia produzidas em obra promovem essencialmente aderência mecânica e, por isso, são utilizadas em materiais porosos. Possuem também baixa capacidade de retenção de água. Essas, ao longo dos anos, foram substituídas por argamassas colantes cimentícias, as quais têm potencial de desenvolver tanto a aderência mecânica como a química. Além disso, proporcionam uma camada mais fina. Por causa dos aditivos nelas empregados, podem proporcionar maior capacidade de retenção de água, melhor capacidade de aderência e, inclusive, maior resistência química e flexibilidade.

A aderência química, necessária para a aplicação de placas cerâmicas com superfície lisa e de baixa porosidade, como o porcelanato, é obtida fundamentalmente pelo emprego de pastas de resina e resinas de reação. Esses produtos são amplamente utilizados em outros países. As pastas de resina são constituídas usualmente por adesivos poliméricos, principalmente as resinas vinílicas e acrílicas, enquanto as resinas de reação, como o epóxi, são adesivos com características superiores em relação a praticamente todos os demais produtos, e o seu endurecimento ocorre por reação química.

As argamassas colantes cimentícias monocomponentes são o material mais empregado no Brasil. São especificadas pela norma ABNT NBR 14.081 (2004), que as define como *"produto industrial, no estado seco, composto de cimento*

Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturados com a água, formam uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento”.

A norma classifica as argamassas colantes em função da resistência de aderência e tempo em aberto, dividindo-as em três classes ACI, ACII e ACIII (Argamassa colante tipos I, II e III), conforme a Tabela 2.2. E acrescenta que cada uma das classes pode ser reclassificada como argamassa especial, caso o tempo em aberto seja aumentado em pelo menos 10 minutos, ficando, assim, com as siglas ACI-E, ACII-E ou ACIII-E.

Por ser a interface entre o emboço e as placas cerâmicas, a camada de fixação tem um papel determinante no desempenho do sistema de revestimentos cerâmicos. A aderência em am-

bas as interfaces deve apresentar nível adequado diante das solicitações e dos esforços a que o conjunto estará submetido. Assim, essa camada é um ponto crítico do revestimento cerâmico, pois, quando as tensões superam seu limite de resistência de aderência, pode ocorrer o destacamento das placas cerâmicas da camada de fixação (Figura 2.4) ou mesmo o destacamento da camada de fixação da superfície do emboço, como anteriormente destacado (Figura 2.3).

A resistência de aderência e a capacidade de absorver deformações são propriedades de extrema importância da camada de fixação. Essas são responsáveis por conferir ao revestimento cerâmico adequado desempenho mecânico diante das tensões de tração ou cisalhamento que podem ser geradas nas camadas, tanto em função das variações térmicas e higroscópicas do ambiente, como pela pressão de suc-

TABELA 2.2 Requisitos e critérios para argamassas colantes industrializadas.

Propriedade	Método de ensaio	Unid	Argamassa colante		
			I	II	III
Tempo em aberto	NBR 14083	min	≥15	≥20	≥20
Res. aderência (28 dias):	NBR 14083				
Cura normal		MPa	≥0,5	≥0,5	≥1,0
Cura submersa em água		MPa	≥0,5	≥0,5	≥1,0
Cura em estufa		MPa	—	≥0,5	≥1,0
Deslizamento	NBR 14085	mm	≤0,7	≤0,7	≤0,7

Fonte: ABNT NBR 14081 (2004)



FIGURA 2.4 Ilustração de queda das placas cerâmicas de fachada de edifício em que a camada de fixação aderiu à superfície do emboço (Foto: ANGELO JUST).

ção do vento, principalmente em revestimentos de fachadas.

A resistência de aderência da placa cerâmica ao substrato é contemplada pela norma de assentamento de revestimentos cerâmicos em fachadas, ABNT NBR 13755 (1996), a qual apresenta método de ensaio e recomenda que a verificação da aderência seja feita sempre que a fiscalização julgar necessário. Segundo a norma, essa avaliação deve ser realizada *in loco*, após 28 dias de assentamento das placas, em seis exemplares de corpos de prova, e o revestimento é aprovado se, pelo menos, quatro dos valores forem iguais ou superiores a 0,3 MPa.

Já a capacidade de absorver deformações das argamassas colantes pode ser conferida por sua flexibilidade e módulo de elasticidade, sendo esses importantes requisitos para a manutenção da aderência dos revestimentos ao longo da vida útil do edifício.

2.4 Camada de acabamento

Em revestimento decorativo com placas cerâmicas, a camada de acabamento é constituída pelas placas cerâmicas e pelas juntas entre as placas, as quais são preenchidas por rejunte. Essa camada, por ficar exposta à ação das intempéries, é a mais solicitada do sistema, principal-

mente pela variação de temperatura e umidade. Assim, o conjunto deve ser dotado de características e propriedades que lhe permita resistir às tensões a que estará sujeito, cumprindo, dessa forma, parte de suas funções.

Neste item, serão apresentadas as características desses componentes que mais claramente influenciam no comportamento do revestimento.

2.4.1 Placas cerâmicas

São placas delgadas, obtidas a partir de materiais cerâmicos, utilizadas para revestimento de pisos e paredes. Segundo Timellini e Palmonari (2004), o termo “cerâmico” é utilizado, tradicionalmente, para os produtos obtidos das misturas de argila, areia e outras substâncias naturais que, após uma mistura apropriada, dão origem a componentes de formato específico que são queimados a alta temperatura (de 1.000 a 1.250 °C), conferindo-lhes suas importantes características físicas.

A NBR 13818 (1997) define as características físicas e as condições-limite para especificação e aplicação de placas cerâmicas para revestimentos, bem como os métodos de ensaios aos quais as placas devem ser submetidas. Características como aspecto superficial, traços dimensionais, teor de absorção de água, resistências mecânicas (como: carga de ruptura, módulo de resistência à flexão, resistência à abrasão superficial e profunda, resistência ao gretamento, resistência ao risco) e estabilidade química e física (como: expansão por umidade,

resistência à ação da água e do fogo, resistência ao manchamento e ao ataque químico, estabilidade de cores) devem ser conhecidas do projetista para especificação do tipo de componente adequado a cada uso específico.

Segundo Medeiros (1999), as propriedades das placas cerâmicas trazem uma série de vantagens importantes para o uso como revestimento de fachada, dentre as quais destacamos as principais:

- não propagam fogo;
- elevada impermeabilidade;
- baixa higroscopicidade;
- não provocam diferença de potencial;
- não são radioativas;
- não geram eletricidade estática;
- excelente isolamento;
- custo final, em geral, compatível aos benefícios, principalmente em relação à manutenção durante a vida útil.

a) Absorção de água

A absorção de água é uma importante característica das placas cerâmicas e tem significativa influência em muitas outras características físicas importantes para o bom desempenho dos revestimentos de fachadas (Goldberg, 1998).

As placas de revestimento cerâmico são agrupadas segundo sua capacidade de absorção de água e, genericamente, denominadas em função dessa classificação, como ilustra a Tabela 2.3.

TABELA 2.3 Grupos de absorção de água

Denominação	Grupo	Faixa de absorção (%)
Porcelanato	Ia	$0 < \text{abs} \leq 0,5$
Grês cerâmico	Ib	$0,5 < \text{abs} \leq 3,0$
Semigrês	IIa	$3,0 < \text{abs} \leq 6,0$
Semiporoso	IIb	$6,0 < \text{abs} \leq 10,0$
Poroso *	III	Abs acima de 10

* Os azulejos estão nesse grupo de absorção. A carga de ruptura permitida para o azulejo é menor que 400 N, o que o diferencia do piso-poroso, sendo indicado somente para uso em paredes

Fonte: (NBR 13818, ABNT, 1997).

A absorção de água da placa cerâmica está relacionada diretamente à sua porosidade. Quanto mais compacto for o material, menor a porosidade da peça cerâmica e, conseqüentemente, menor a absorção de água. Assim, é uma propriedade que pode ser utilizada como referência para a especificação dos materiais da camada de fixação, uma vez que o nível de porosidade do componente cerâmico interfere nas suas características de aderência ao emboço e à argamassa de rejuntamento.

A aderência por ancoragem mecânica das argamassas às placas, que acontece a partir da penetração da pasta de cimento nos poros e interstícios das placas cerâmicas, será tanto menor quanto menores forem a porosidade e

a faixa de absorção dessas. Assim, nas placas de porcelanato, cuja absorção de água é quase nula, a aderência mecânica praticamente não ocorre, sendo preciso recorrer à adesão química dos componentes (MEDEIROS, 1999).

Da mesma forma, o nível de porosidade das placas cerâmicas pode interferir nas características de aderência das argamassas de rejuntamento e do material selante empregado para preenchimento da juntas de movimentação.

A absorção de água das placas cerâmicas também está relacionada à movimentação higroscópica à qual o revestimento de fachada poderá estar sujeito, ou seja, a movimentos causados pela variação de umidade que podem possibilitar sua variação dimensional. Assim, apesar de não constar das normas vigentes, alguns documentos limitam a absorção de água das placas cerâmicas, que poderão ser empregadas em fachadas de edifícios, a no máximo 3%, em climas que experimentam temperaturas de congelamento, e a 6% em outros climas (GOLDBERG, 1998).

b) Expansão por umidade

A expansão por umidade (EPU) consiste no aumento das dimensões dos materiais cerâmicos em razão da adsorção³ de água pelo corpo do material. Caracteriza-se por ser uma rápida expansão imediatamente após a fabri-

³ Adsorção é a fixação das moléculas de uma substância (o adsorvato) na superfície de outra substância (o adsorvente) (Oxford Dictionary of Chemistry, 1996).

cação da peça e uma subsequente expansão, com uma taxa sensivelmente menor, que pode se processar por dezenas de anos (MENEZES et al., 2006).

A EPU tem sua intensidade influenciada pelo processo de produção dos componentes, entre eles: a matéria-prima que compõe a massa, os ciclos de queima e a porosidade aparente do material (CHIARI et al. 1996).

Apesar de ocorrer lentamente e ser relativamente pequena, pode comprometer a aderência das placas cerâmicas, pois se dá depois de as placas cerâmicas terem sido assentadas (Fiorito, 1994). Além disso, a EPU pode levar as placas cerâmicas ao gretamento (CHIARI et al. 1996).

Segundo Fiorito (1994), a ordem de grandeza dessa deformação é de 0,0003 a 0,0007 mm/m, após dois anos de exposição ao ar, e os valores podem ser bem maiores ou até bem menores, ou mesmo nulos para corpos cerâmicos de absorção de água próxima a zero.

Como a EPU pode ocorrer antes e após o assentamento das placas cerâmicas na fachada, uma avaliação interessante seria conhecer a EPU Potencial – aquela que ainda poderá ocorrer futuramente, após o assentamento das placas.

A NBR 13818 (1997) propõe como principal característica física a ser avaliada para especificação de placas cerâmicas em fachadas a expansão por umidade. Usualmente, a determinação da EPU das placas cerâmicas é realizada por métodos de ensaio que submetem as placas

cerâmicas a condições de elevada temperatura, como o método de ensaio do Anexo J da ABNT NBR 13818 (1997), pelo qual os corpos de prova são secos em estufa a 110 °C durante 24 horas e depois requeimados em mufla a 550 °C por duas horas; além desse método, determina-se a EPU pelo método da autoclave, submetendo-se as placas cerâmicas a altas temperaturas e à pressão.

Ambos os métodos submetem os corpos de prova a condições mais agressivas do que as condições sob as quais o componente estará sujeito. Em geral, apesar da grande quantidade de trabalhos que abordam o fenômeno da EPU, há muita controvérsia acerca da metodologia mais adequada para determiná-la, seja ela passada ou a potencialmente futura (MENEZES et al., 2006).

Ainda segundo Fiorito, *“existe a tendência em se adotar este valor como valor máximo para EPU em revestimentos; entretanto, ao se determinar o valor citado, não foi considerada a possibilidade de a peça já estar assentada”*. Esse autor afirma que o valor da EPU de 0,0006 mm/m pode ser considerado muito elevado quando as placas estão assentadas, se forem admitidos os limites de resistência ao cisalhamento da interface entre a placa cerâmica e a argamassa e da própria argamassa. Essa afirmativa é esclarecida em seu trabalho por meio de um modelo matemático e não cabe aqui repeti-lo.

Destaca-se que, ao contrário do que suposto por muitos, a absorção de água das placas cerâmicas não é necessariamente proporcional à EPU. Menezes e colaboradores (2003) constataram em

seu trabalho que em 50% dos casos avaliados existiu uma proporcionalidade inversa entre a EPU e a absorção de água.

c) Dilatação térmica

A dilatação térmica das placas cerâmicas é uma característica importante para os revestimentos de fachadas. O aumento nas dimensões das placas em razão do aumento da temperatura e sua contração com a diminuição dessa, segundo Thomaz (1989) e Fiorito (1994), contribuem para o destacamento do revestimento em função das tensões que introduzem no sistema.

A variação dimensional dos produtos cerâmicos em decorrência das variações de temperatura é expressa pelo coeficiente de dilatação térmica linear das placas cerâmicas⁴ que, segundo Porcar (1987), está compreendido entre 4 e 8×10^{-6} mm/m/°C. Esse coeficiente pode ser estimado com base no anexo K da ABNT NBR 13818 (1997).

d) Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade, relação entre uma dada tensão e a deformação específica do material correspondente a essa tensão, é uma propriedade da placa cerâmica que expressa sua capacidade de deformação.

Os valores do módulo são utilizados para estimar as tensões atuantes no revestimento em determinada situação. Entretanto, segundo Abreu (2001),

a determinação do módulo de elasticidade envolve algumas dificuldades, como a limitada espessura do componente, a elevada rigidez e a fragilidade do material cerâmico, além da grande variedade de material.

Essa característica da placa cerâmica e sua influência no comportamento dos revestimentos serão abordadas no capítulo 3 em que se discute o comportamento mecânico do revestimento.

2.4.2 Juntas de assentamento

As juntas de assentamento são aquelas existentes entre placas adjacentes de um revestimento modular e assim chamadas por serem originadas durante o processo de assentamento dos componentes, as quais posteriormente são preenchidas por rejunte.

Segundo Junginger (2003), o rejunte tem grande importância no desempenho do revestimento cerâmico, e suas funções, segundo Sabbatini e colaboradores (1990) e Junginger (2003), são:

- **Proporcionar alívio de tensões:** as juntas entre componentes, quando adequadamente especificadas e executadas, têm potencial de reduzir o módulo de elasticidade dos panos de revestimento e, por consequência, aumentam sua capacidade de absorver deformações intrínsecas, provocadas pelas variações térmicas.

⁴ O coeficiente de expansão térmica linear é a relação entre a expansão linear do corpo por grau de temperatura e por unidade de comprimento a 0 °C.

cas e higroscópicas e deformações de amplitude normal das bases.

- **Otimizar a aderência das placas cerâmicas:** o contato do rejunte com o fundo da junta aumenta indiretamente a área de contato das placas com o substrato, sobretudo, em revestimento com placas de pequenas dimensões, em que a área das juntas de assentamento não é desprezível.

Segundo a BS 5385: Part2 (BSI, 1991), para que as juntas em revestimentos externos cumpram suas funções, o rejunte deve ter adequada trabalhabilidade, baixa retração e adequada aderência nas laterais das placas cerâmicas, cujo espaçamento forma as juntas de assentamento. Exige-se, ainda, que seja um material compatível com as condições ambientais a que estará sujeito.

2.5 Detalhes construtivos

Os detalhes construtivos são elementos que devem ser previstos em pontos estratégicos da fachada, buscando aumentar o desempenho do sistema de revestimento. Segundo Maciel (1997), esses detalhes são executados durante a produção dos revestimentos, de acordo com sua função nas camadas de revestimento.

Os detalhes construtivos muitas vezes estão previstos no projeto de arquitetura para proteger a fachada da incidência e da ação da chuva, compreendendo os pontos de captação de águas pluviais, os beirais, as cimalthas, as molduras e até mesmo os frisos. Esses detalhes, entretanto, não serão abordados neste trabalho.

As juntas de movimentação, os requadros, as quinas e os reforços com telas metálicas também são detalhes importantes muitas vezes esquecidos no projeto de arquitetura, mas que deverão ser previamente pensados antes da execução dos revestimentos.

Destacam-se as telas de reforço, que são utilizadas na camada de emboço com a função de dissipar as tensões que se concentram na base, e servem, muitas vezes, para estruturar o revestimento, em caso de espessuras muito elevadas (BARROS e SABBATINI, 2004).

As juntas de movimentação, por outro lado, são regiões de concentração das tensões que surgem no revestimento, cuja função é proporcionar alívio das tensões nas camadas de revestimento e serão objeto de análise nos capítulos que se seguem.



Comportamento dos Revestimentos

Neste capítulo, sintetiza-se o comportamento mecânico dos revestimentos de fachadas, considerando-se os fatores que originam tensões nas suas diversas camadas e, na sequência, aborda-se o alívio dessas tensões, a partir da produção de juntas de movimentação.

3.1 Movimentos e tensões

Diversos são os agentes de deterioração que atuam nos revestimentos de fachadas, sendo que os principais são citados pela norma ISO 6241 (ISO, 1984) como de origem mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica.

Enfocam-se aqui aqueles que tendem a ocasionar movimentos nas camadas de revestimento, como a variação de temperatura, a umidade e o vento e também aqueles decorrentes da deformação da base em que o revestimento está aplicado. Esses agentes, atuando de maneira isolada ou simultaneamente, resultam em movimentos no edifício, sendo variáveis seus efeitos no comportamento dos revestimentos de fachadas. Segundo a BS 5385:2 (BSI, 1991), esses movimentos podem originar tanto tensões de compressão como de tração que, por sua vez, ori-

ginam tensões de cisalhamento na interface entre as diversas camadas do revestimento.

No revestimento cerâmico, as tensões de tração que ocorrem na camada de acabamento constituída por placas cerâmicas e rejunte, em virtude das variações de temperatura ambiente e umidade, resultam em tensões de cisalhamento na interface dessa camada com a de fixação. A tensão de cisalhamento pode ocorrer também a partir do surgimento de tensões de compressão na camada de acabamento, originadas, por exemplo, pela expansão por umidade das placas cerâmicas ou pela sua contração em um momento de queda repentina de temperatura, ou mesmo pelo encurtamento e por deflexões dos elementos da estrutura.

As tensões ocorrem em cada uma das camadas e nas suas interfaces. Solicitam o revestimento de maneira não uniforme, levando tanto a base quanto as próprias camadas a movimentos diferenciais que podem contribuir para o incremento de tensões (FIORITO, 1994).

Por sua vez, a capacidade resistente das camadas de se deformarem e de se manterem aderidas faz com que as tensões se dissipem ao longo das suas interfaces. Entretanto, se as tensões originadas excederem a capacidade resistente da camada, poderá haver o comprometimento da estabilidade do conjunto, ocasionando fissuração ou perda de aderência e, conseqüentemente, o destacamento do revestimento (SABBATINI et al., 1990; FIORITO, 1994).

Por isso, o equacionamento entre as ações de agentes solicitantes e as conseqüentes tensões geradas e a capacidade resistente das camadas é determinante na durabilidade dos revestimentos cerâmicos de fachadas. Como os materiais utilizados nas camadas de revestimento têm resistência mecânica limitada, é necessário minimizar as tensões atuantes. Isso pode ser obtido por meio das juntas de assentamento e a partir da limitação do tamanho do painel de revestimento, pela introdução de juntas que permitam reduzir a restrição aos movimentos e, desse modo, o nível de tensões.

Com o emprego de juntas de movimentação, busca-se que as tensões originadas em um painel não sejam transmitidas para as áreas adjacentes, o que permitirá reduzir o risco de se ter tensões, elevadas e, por conseqüência, problemas de resistência mecânica do revestimento. Portanto, para o dimensionamento das juntas de movimentação, é necessário que se conheça a magnitude das ações que originam tensões, e nisso reside uma grande dificuldade, pois não se tem modelos que possam prever com precisão os movimentos que serão originados, tampouco os seus efeitos nas camadas do revestimento. Além disso, também não se têm modelos que permitam prever o comportamento do revestimento, uma vez que um mesmo movimento pode provocar tensões mais ou menos elevadas em um sistema de revestimento, principalmente em função da sua capacidade de absorver deformações que também não é claramente conhecida.

Em virtude da complexidade de se obter informações precisas sobre o comportamento do sistema de revestimento cerâmico de fachada, o método que tem sido utilizado por alguns autores para o dimensionamento das juntas de movimentação é avaliar os movimentos totais passíveis de ocorrência, a partir da estimativa da magnitude do movimento que cada agente mecânico pode originar. O movimento resultante é considerado para o dimensionamento das juntas que são posicionadas nas regiões que se julga serem as de maior concentração de tensões e, consequentemente, de maior possibilidade de fissuração.

Goldberg (1998) e Medeiros (1999), por exemplo, ilustram em seus trabalhos a quantificação dos movimentos para o dimensionamento das juntas de forma acumulada e maximizada. Ou seja, consideram a soma dos movimentos como se todos eles ocorressem simultaneamente e em uma mesma direção, para estabelecer um fator de segurança para a mais extrema condição.

Entretanto, um fator importante a ser ainda observado no dimensionamento das juntas de movimentação é a reversibilidade dos movimentos. Segundo o CSTC (1979), o ACI 504 R-90 (ACI, 1997) e a ASTM C1472 (ASTM, 2006), os elementos de fachada e, por conseguinte, as suas juntas sofrem movimentos irreversíveis e reversíveis.

Os movimentos irreversíveis são aqueles que causam deformações permanentes no elemento, ou seja, uma vez ocorrida a deformação, mesmo que

a ação que a causou seja eliminada, o elemento não retorna à sua dimensão original. Os movimentos reversíveis são aqueles que, uma vez cessada a solicitação, o elemento retorna à sua dimensão original; retornando à ação, os movimentos voltam a ocorrer e, consequentemente, a deformação, tendo como resultado deformações cíclicas.

A reversibilidade do movimento da junta de movimentação do revestimento dependerá da natureza da ação que o causou. Por exemplo, a deformação lenta da estrutura de concreto causará um movimento unidirecional irreversível na junta; enquanto os movimentos em razão das cargas de vento e do efeito térmico tenderão a causar movimentos repetidos e cíclicos, os quais poderão ser reversíveis desde que a junta seja corretamente dimensionada.

É preciso destacar que as deformações irreversíveis, quando de compressão da junta, fecham a abertura da junta, reduzindo-a permanentemente. Nessa situação, a junta passará a ter uma dimensão inferior àquela inicialmente projetada e, caso esse movimento não tenha sido previsto, a junta poderá ter seu comportamento comprometido diante de possíveis movimentos cíclicos que possam vir a ocorrer (ASTM C1472, 2006).

Portanto, para que se possa dimensionar adequadamente a junta, é preciso conhecer as características dos principais movimentos a que estará sujeita; por isso, nos itens a seguir são sintetizados os principais fatores que originam os movimentos e as consequentes deformações nos revestimentos de fachadas.

3.2 Fatores que originam movimentos e tensões nos revestimentos

São diversos os fatores que originam movimentos no edifício e, consequentemente, nas camadas de revestimento que o recobrem. Esses fatores podem ser tanto externos, como os ventos, impactos e vibrações, quanto inerentes ao comportamento dos materiais e componentes que constituem o edifício, como a variação da umidade e da temperatura, que ocasiona mudanças di-

mensionais dos materiais constituintes da base e das camadas de revestimento. Há, ainda, o comportamento intrínseco dos componentes do edifício, como a deformação lenta da estrutura, que acaba solicitando tanto o vedo quanto o revestimento que o recobre.

Os movimentos que ocorrem nas camadas podem ser classificados segundo sua natureza e agrupados segundo a sua reversibilidade, conforme proposto na Tabela 3.1. A natureza, os fatores influenciadores e o meio para quantificação da magnitude desses movimentos são descritos nos itens seguintes.

TABELA 3.1 Classificação dos movimentos dos elementos construtivos quanto à sua natureza e à reversibilidade.

Natureza	Movimento	Reversibilidade
Varição da temperatura	Movimento térmico (contração ou expansão dos materiais por variação de temperatura)	Reversível
	Movimento higroscópico (retração ou expansão dos materiais por variação da umidade)	
Ação da umidade	Expansão por umidade de placas cerâmicas Retração por secagem da argamassa de emboço ou da argamassa colante da camada de fixação	Irreversível
Comportamento intrínseco dos componentes e elementos do edifício	Movimento da estrutura de concreto em razão das cargas permanentes: peso próprio, fluência, retração	
Ação do vento	Movimento do edifício por causa das cargas de vento	Irreversível ou reversível (avaliar cada caso especificamente)

3.2.1 Variação de temperatura

O efeito que a variação de temperatura ocasiona nos materiais e componentes construtivos é sua variação dimensional na forma de expansão das camadas, quando há o aumento da temperatura, ou contração, quando há redução. Os movimentos de origem térmica – movimentos de expansão e contração dos materiais e componentes – ocorrem de maneira diferencial entre as camadas, em função de suas distintas características, e sempre se restringem pela aderência das camadas de revestimento ao seu substrato. Por se tratarem de movimentos reduzidos, introduzem tensões de compressão ou de tração na camada e de cisalhamento na interface entre a camada e seu substrato. Como há uma variação cíclica da temperatura, os movimentos que ela causa também são cíclicos, o que pode resultar, ao longo do tempo, em fadiga nas ligações (entre camadas ou entre elas e o substrato), ocasionando, na maioria das vezes, em perda de aderência.

Segundo a BS 5385: part2 (BSI, 2006) e a ASTM C1472 (ASTM, 2006), o movimento térmico é o efeito predominante nas variações dimensionais dos componentes do edifício, sendo, por isso, um fator determinante para o emprego de juntas de movimentação.

Pela sua importância no comportamento dos revestimentos de fachadas,

alguns manuais de especificação de juntas de movimentação, como o DTU.44.1 (AFNOR, 2002), consideram apenas o efeito térmico na obtenção das dimensões das juntas

As características de exposição das fachadas é um fator determinante das variações dimensionais ao longo da extensão do revestimento cerâmico, pois cada fachada estará sujeita a uma escala de temperatura diferente, em função da orientação e da proteção do edifício. Portanto, para a análise da edificação, pode-se considerar cada fachada especificamente ou definir o posicionamento das juntas em função da fachada cuja orientação é mais crítica em relação à incidência solar (LEDBETTER, HURLEY e SHEEHAN, 1998).

Além disso, apesar de todas as camadas do sistema de revestimento estarem em permanente exposição à ação da variação da temperatura, movimentam-se em maior ou menor grau, de acordo com as propriedades físicas de seus materiais constituintes e com a intensidade da variação de temperatura a que estão sujeitas.

Em estudo realizado por Saraiva (1998), em que avaliou a influência da dilatação térmica das placas cerâmicas nas tensões do revestimento, constatou-se um aumento em torno de 60% nas tensões na camada de acabamento, ao utilizar peças cerâmicas escuras, ou seja, com alto coeficiente de absorção solar¹.

1 A cor da superfície das placas cerâmicas influencia em seu potencial de absorção de calor e, consequentemente, em sua temperatura de superfície, que acarretará maior ou menor dilatação térmica da camada.

Assim, quando se conclui que a dilatação térmica do revestimento cerâmico é elevada, deve-se tomar cuidados especiais, como o emprego de argamassas colantes flexíveis e especificação de juntas de movimentação (AS 3958, 1992).

De modo geral, os fatores a serem considerados para a quantificação do movimento das camadas de revestimento por variação térmica são a variação de temperatura das camadas e os seus respectivos coeficientes de dilatação térmica linear.

O movimento térmico ou a variação dimensional linear a que cada camada de revestimento está submetida em função da variação de temperatura pode ser obtido pelo produto dos seguintes fatores: comprimento do painel, variação da temperatura nessa camada na situação considerada e capacidade de dilatação linear dos materiais constituintes da camada (coeficiente de dilatação térmica linear), conforme a Equação 3.2.1.1.

$$\Delta L_x = L * \Delta t * \alpha_x \quad \text{Equação 3.2.1.1}$$

Sendo:

ΔL_x : Variação dimensional linear (mm)

L : Comprimento do painel não restringido (distância entre juntas) (mm)

Δt : Variação entre a temperatura máxima e a temperatura mínima no período considerado ($^{\circ}\text{C}$)

α_x : Coeficiente de dilatação térmica linear (mm/mm/ $^{\circ}\text{C}$)

A máxima variação dimensional ocorre em função da máxima variação de temperatura que, por sua vez, pode ser calculada a partir da diferença máxima de temperatura de superfície (temperaturas de bulbo seco²) que pode ocorrer ao longo do ano e que, por sua vez, poderá ser calculada considerando-se a diferença entre a temperatura mais baixa no ano (T_{Min}) e a temperatura mais elevada no ano (T_{Max}), conforme indica a equação 3.2.1.2, a seguir.

$$\Delta T_M = T_{Max} - T_{Min} \quad \text{Equação 3.2.1.2}$$

Sendo:

ΔT_M : Variação máxima de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

T_{Max} : Temperatura mais elevada da superfície ($^{\circ}\text{C}$)

T_{Min} : Temperatura mais baixa da superfície ($^{\circ}\text{C}$)

A temperatura mais baixa (T_{Min}) corresponde diretamente às mínimas temperaturas de bulbo seco ($T_{BS Min}$) e pode ser encontrada na Tabela 3.2. Para a temperatura mais elevada, considera-se o ganho do calor na superfície do revestimento, a partir do produto do coeficiente de absorção solar do material (A_s) (Tabela 3.3) pela constante de capacidade de calor (C_s) (Tabela 3.2), adicionado à temperatura de bulbo seco máxima (Tabela 3.4), como indica a Equação 3.2.1.3.

2 Temperatura de bulbo seco: temperatura do ar, medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação ambiente (ASHRAE, 1997).

TABELA 3.2 Temperatura de bulbo seco em 14 cidades brasileiras.

Temperatura média das máximas e média das mínimas (°C)		
Cidade	T_{BSMax} °C	T_{BSMin} °C
Belém	27	15
Brasília	22,5	12
Curitiba	24,8	17
Florianópolis	30,2	23,4
Fortaleza	28,8	20,6
Maceió	29,7	22,4
Natal	28,5	23,5
Porto Alegre	25	14,5
Recife	28,5	23,5
Rio de Janeiro	27,3	20,5
Salvador	28,7	21,8
São Luís	31,2	23,4
São Paulo	23,8	15,1
Vitória	28,4	20

Fonte: GOULART, LAMBERTS E FIRMINO, 1998.

TABELA 3.3 Constante de capacidade de calor³ – C_x

Condições da superfície	Constante
Baixa	56
Baixa com reflexão	72
Alta	42
Alta com reflexão	56

Fonte: ASTM C1472 (ASTM, 2006).

A norma ASTM C1472 (ASTM, 2006) apresentou as temperaturas de bulbo seco das cidades norte-americanas, obtidas no "Handbook of Fundamentals", do ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), no qual também são encontradas as temperaturas do Brasil. Goulart, Lamberts e Firmino (1998) determinaram, pela metodologia ASHRAE, as temperaturas de projeto de bulbo seco para 14 cidades brasileiras, as quais estão apresentadas na Tabela 3.2.

Medeiros (1999), a partir de diferentes fontes, fez uma síntese dos valores médios de coeficiente de dilatação térmica linear dos materiais que podem constituir os revestimentos cerâmicos de fachadas. Reuniram-se a esses os valores de coeficiente de dilatação térmica linear apresentados na ASTM C1472 (ASTM, 2006), compondo-se a Tabela 3.5.

$$T_{Max} = T_{SBMax} + A_A(C_x) \quad \text{Equação 3.2.1.3}$$

Sendo:

T_{SBMax} : Temperatura de bulbo seco máxima (°C)

A_A : Coeficiente de absorção solar dos materiais

C_x : Constante da capacidade de calor

3 A constante de capacidade de calor refere-se à capacidade do material de armazenar calor. As paredes de constantes de capacidade de calor baixas são representadas pelas paredes condutoras, como as de painel metálico, enquanto as superfícies de concreto e alvenaria representam as paredes de alta capacidade de calor. Se houver reflexão de radiação solar na superfície, devem ser utilizadas as constantes que incluem esses efeitos (ASTM C1472, 2006).

TABELA 3.4 Coeficientes de absorção solar.

Superfície	Coeficiente de absorção solar
Concreto	0,65
Superfície colorida preta	0,95
Superfície colorida verde-escuro	0,80
Superfície colorida verde-clara	0,65
Superfície colorida branca	0,45
Mármore branco	0,58

Fonte: ASTM C1472 (ASTM, 2006).

TABELA 3.5 Valores de coeficiente de dilatação térmica linear (α) de materiais que constituem os revestimentos cerâmicos de fachada.

Material	Coeficiente de dilatação térmica linear (α) °C ⁻¹
Porcelanato	4,5 a 13 × 10 ⁻⁶
Grês cerâmico	5,9 a 12 × 10 ⁻⁶
Semigrês	5,9 a 12 × 10 ⁻⁶
Cerâmica semiporosa	8 a 10 × 10 ⁻⁶
Cerâmica porosa	8 a 10 × 10 ⁻⁶
Litocerâmica	8 a 10 × 10 ⁻⁶
Argamassa colante	8 a 12 × 10 ⁻⁶
Rejunte comum	9 a 13 × 10 ⁻⁶
Rejunte flexível	9 a 13 × 10 ⁻⁶
Poliestireno expandido	15 a 45 × 10 ⁻⁶
Polietileno expandido	110 a 200 × 10 ⁻⁶
Bloco cerâmico (2)	6,5 × 10 ⁻⁶
Concreto (2)	9,0 × 10 ⁻⁶

Fonte: MEDEIROS, 1999; ASTM C1472 (2006).

Para exemplificar a aplicação das equações propostas pela ASTM 1472 (ASTM, 2006), na sequência são calculados os movimentos térmicos horizontais e verticais, em dois painéis de 12 metros de largura por 3 metros de altura, revestidos por placa cerâmica, sendo em um deles as placas de cor preta e no outro, de cor branca, ambas com coeficiente de dilatação térmica linear de 12×10^{-6} mm/mm/°C, aplicadas em um local cuja temperatura ambiente mínima é de 15° C e máxima de 27 °C, com os resultados apresentados na Tabela 3.6.

Goldberg (1998) exemplifica em seu trabalho o cálculo da largura das juntas de movimentação em função dos movimentos térmicos esperados para a fachada do edifício, com as características a seguir.

- Edifício de 50 metros de altura.
- Revestimento de porcelanato ($\alpha_{\text{porc.}} = 6 \times 10^{-6}$ mm/mm/°C).
- Temperaturas de superfície (cor escura) variaram de 60°C no sol quente e -10 °C no clima frio ($\Delta t = 70$ °C).
- Valor de difusão de calor através das camadas, de modo que a estrutura de concreto ($\alpha_{\text{concreto}} = 10 \times 10^{-6}$ mm/mm/°C) atingiu temperatura média de 30 °C na interface com o revestimento.

Substituindo os valores anteriormente propostos na equação 3.2.1.1, aquele autor fez o seguinte cálculo:

Deformação da estrutura de concreto:
 $0,000010 \text{ mm/}^\circ\text{C/m} \times 50\text{m} \times 1.000\text{mm} \times 30^\circ \text{C} = 15 \text{ mm}$

Deformação das placas de porcelanato:
 $0,000006 \text{ mm/}^\circ\text{C/m} \times 50\text{m} \times 1.000\text{mm} \times 70^\circ \text{C} = 21 \text{ mm}$

TABELA 3.6 Magnitude dos movimentos em painéis de diferentes cores de placas cerâmicas

Placa cerâmica	Coeficiente de absorção solar (Tabela 3.4)	Constante de capacidade de calor (Tabela 3.2)	Temperatura superfície componente (°C)		Diferença de temperatura ΔT (°C) (Equação 3.2.1.2)	Largura 12 m	Altura 3 m
			MIN (tabela 3.3)	MÁX (Equação 3.2.1.3)		Movimento horizontal (mm) (Equação 3.2.1.1)	Movimento vertical (mm) (Equação 3.2.1.1)
Preta	0,95	56	15	80,2	65,2	9,39	2,35
Branca	0,45	72	15	59,4	37,2	6,39	1,60

Fonte: AUTORES.

Dessa forma, foram determinados os movimentos da camada de revestimento e da base, de modo que possam ser comparados, tomando-se o de maior magnitude (21 mm) para o cálculo da largura das juntas de movimentação. Vale lembrar que esse valor não é o da abertura da junta, mas sim o valor que será utilizado para o seu cálculo.

Ainda para a análise do efeito da variação de temperatura nos revestimentos, a ASTM C1472 (ASTM, 2006) sugere que o movimento térmico máximo esperado seja buscado para a determinação da largura da junta, avaliando-o em diferentes temperaturas, considerando-se diferentes estágios da vida do edifício: durante a construção; desocupado e não condicionado; e ocupado e condicionado. Cada um desses estágios resultará em diferentes condições ambientais interiores e, dependendo do material ou do revestimento analisado, um destes produzirá o movimento

térmico máximo a ser considerado na proposição da largura da junta.

A avaliação do efeito dos movimentos térmicos da base e das camadas de revestimento deve ser feita conhecendo-se as tensões que esses movimentos introduzem. Para se conhecer, simplificada, o nível de tensão atuante em cada camada, considera-se os materiais trabalhando em sua faixa elástica e equaciona-se a tensão pela lei de Hooke, a partir dos valores de módulo de elasticidade de cada material constituinte, como expressa a Equação 3.2.1.4.

$$\sigma = E * \varepsilon \quad \text{Equação 3.2.1.4}$$

$$\varepsilon = \alpha * \Delta t$$

$$\sigma = E * \alpha * \Delta t$$

Sendo:

σ : tensão

ε : deformação (movimento)

α : coeficiente de dilatação térmica linear

E : módulo de elasticidade

Δt : diferença de temperatura

Os valores de módulos de elasticidade dos materiais que constituem os substratos e as camadas dos revestimentos de fachadas foram sintetizados por Medeiros (1999), a partir de diversas fontes e estão expressos na Tabela 3.7.

TABELA 3.7 Valores de módulo de elasticidade (E) de materiais que constituem os substratos e as camadas de revestimentos cerâmicos de fachadas.

Material	Módulo de elasticidade E (GPa)
Porcelanato	50 a 70
Grês cerâmico	40 a 60
Semigrês	35 a 50
Cerâmica semiporosa	35 a 50
Cerâmica porosa	35 a 50
Litocerâmica	45 a 60
Argamassa colante comum	8 a 15
Rejunte comum	10 a 15
Rejunte flexível	8 a 20
Poliestireno expandido	1,7 a 3,1
Polietileno expandido	0,1 a 1
Selante elastomérico	0,05 a 0,1
Concreto denso	18 a 35
Concreto aerado	1,4 a 3,2
Concreto leve	8
Bloco de concreto	10 a 25
Bloco de concreto celular	4 a 16
Bloco cerâmico	4 a 25
Argamassa de cimento	8 a 18

Fonte: MEDEIROS, 2006.

3.2.2 Ação da umidade

A umidade é caracterizada pela presença de água nos materiais nas formas líquida, sólida ou de vapor. Sua ação nos materiais porosos é promovida pela variação do seu conteúdo nos poros, ou seja, quando há absorção ou liberação de água. A ação da umidade conduz a uma variação dimensional, usualmente denominada movimentação higroscópica, que pode resultar em expansão do volume dos elementos, quando há aumento da umidade, ou retração, quando a umidade é reduzida.

A perda de água dos materiais de construção é um dos fatores causadores da contração volumétrica do material. Todas as camadas, inclusive a camada final do revestimento, sofrem diferentes magnitudes de contração, de acordo com suas propriedades e seu grau de exposição e de restrição.

A movimentação higroscópica dos materiais pode ser irreversível ou reversível. O movimento irreversível ocorre pela contração volumétrica dos materiais em sua secagem, logo após a fabricação úmida, tanto dos materiais cimentícios, quanto dos materiais cerâmicos. Essa contração ou retração não pode ser recuperada, uma vez que os materiais não retornam às suas dimensões iniciais ao serem novamente saturados. Após a retração por secagem, o movimento higroscópico continua nos materiais, em uma parcela de retração e expansão denominada reversível, conforme ilustrado na Figura 3.1 (SABBATINI, 1984).

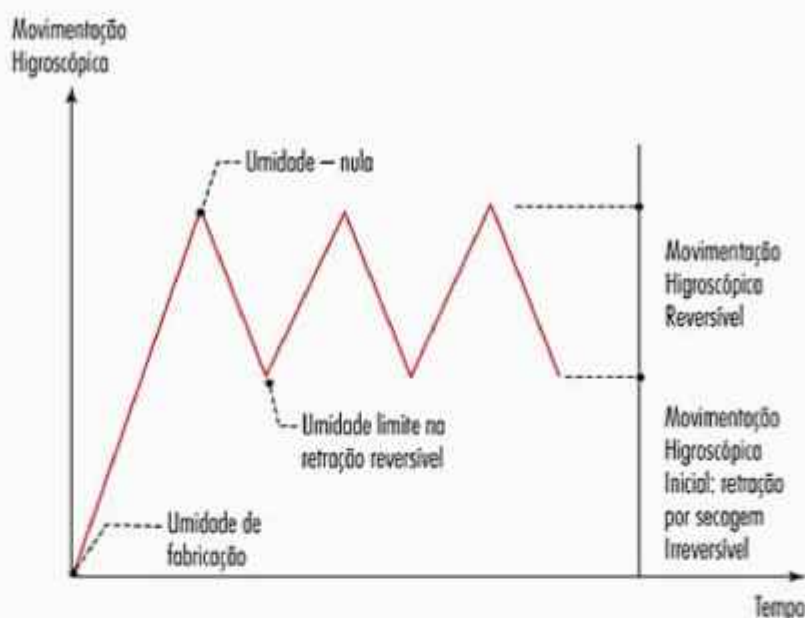


FIGURA 3.1 Movimentação higroscópica dos materiais. Fonte: PFEFFERMANN (1968).

Observa-se, por essa figura, que a retração inicial ou irreversível ocorre em maior magnitude que a reversível. O tempo de ocorrência dessa parcela maior de retração deve ser observado, pois seus efeitos podem ser prejudiciais. Segundo Selmo (1989), a parcela irreversível de retração no endurecimento das argamassas de revestimentos gera tensões internas de tração na argamassa e de cisalhamento na interface argamassa-substrato, podendo causar fissuras, uma vez que em curtas idades a resistência mecânica da camada é reduzida.

A minimização dos efeitos da retração inicial é obtida pelo cumprimento dos prazos de produção das camadas, sobretudo para o assentamento das placas cerâmicas, após a ocorrência da retração irreversível das camadas anteriores. A magnitude desses movimentos nos materiais cimentícios depende das

condições de umidade do ambiente no período de secagem. Deve-se, contudo, observar que, em regiões de clima úmido, o período dessa retração nos materiais cimentícios pode ser prolongado, sendo, por isso, difícil de ser previsto.

O movimento higroscópico reversível é também uma parcela preocupante desse fenômeno, pois ocorre de maneira cíclica, em função dos ciclos de molhagem e secagem dos materiais, movimentando diferencialmente as camadas de revestimento. Segundo Selmo (1989), esses movimentos diferenciados entre emboço, chapisco e base podem causar fissuras e até mesmo destacamento entre as camadas, por tensões de cisalhamento atuantes na sua interface, e estão associados não só à umidade de infiltração resultante da absorção da água da chuva, como também às variações de umi-

dade relativa do meio ambiente⁴ e da condensação superficial.

Os movimentos higroscópicos irreversíveis e reversíveis dos materiais que podem constituir os substratos e as camadas do revestimento cerâmico podem ser calculados multiplicando-se o comprimento do painel de revestimento, na direção do movimento, pelo valor do coeficiente de movimentação higroscópica do material que o constitui. A Tabela 3.8 apresenta valores de referência de coeficientes de movimentação higroscópica compilados de Thomaz (1998) e da ASTM C1472 (ASTM, 2006).

Destaca-se entre os movimentos higroscópicos a expansão por umidade

das placas cerâmicas. Segundo a opinião de alguns pesquisadores, como Bowman (1992 e 1993); Goldberg (1998); e Falcão Bauer e Rago (2000), trata-se de um movimento irreversível que influencia fortemente no destacamento de revestimentos de fachadas. Há, no entanto, opiniões divergentes, como a de Bernett (1976) de que a EPU é raramente responsável pela queda dos revestimentos cerâmicos após poucos anos da sua produção, exceto em casos em que a temperatura e a umidade são altas e contínuas. A NBR 13818 (ABNT, 1997) deixa a observação de que coeficientes de expansão térmica com valores acima de 0,6 mm/m podem contribuir para as manifestações patológicas.

TABELA 3.8 Coeficientes de movimentação higroscópica.

Material	Movimentação higroscópica %	
	Reversível	Irreversível (+) expansão (-) contração
Compostos de cimento		
Argamassa	0,02 a 0,06	0,04 a 0,10 (-)
Concreto (seixo rolado)	0,02 a 0,06	0,03 a 0,08 (-)
Concreto (brita)	0,03 a 0,10	0,03 a 0,08 (-)
Concreto celular	0,02 a 0,03	0,07 a 0,09 (-)
Tijolos ou blocos		
Bloco de concreto	0,02 a 0,04	0,02 a 0,06 (-)
Bloco de concreto celular	0,02 a 0,03	0,05 a 0,09 (-)
Bloco sílico-calcário	0,01 a 0,05	0,01 a 0,04 (-)
Tijolo cerâmico	0,02 a 0,06	0,02 a 0,06 (+)

Fonte: THOMAZ (1998); ASTM C1472 (ASTM, 2006).

⁴ Segundo Selmo (1989), a tensão do vapor de água saturante do ambiente deve equilibrar as pressões capilares internas do material. Na medida em que não há equilíbrio entre essas tensões, há o movimento permanente de umidade do material para o meio ambiente ou deste para o material, acarretando variações dimensionais em sua estrutura, ora de expansão, ora de retração.

3.2.3 Deformações da estrutura

Atualmente, as tendências tecnológicas no campo da produção das estruturas de concreto têm possibilitado edifícios cada vez mais esbeltos e mais altos (Fonte et al., 2005). Assim, as modernas estruturas, ainda que completamente seguras, são também mais deformáveis, admitindo flechas que, apesar de não comprometerem em nada a estabilidade da construção e a estética do componente, podem impor às alvenarias e aos revestimentos deformações e, consequentemente, tensões que resultam em fissuras e destacamentos (SABBATINI, 1998; FRANCO, 1998; MEDEIROS, 1999; ABREU, 2001; THOMAZ, 2005).

Dessa forma, o revestimento cerâmico de fachada deve ser projetado de modo que não sofra as consequências do movimento estrutural ou que possa acomodar os movimentos estruturais que o solicitam.

Os movimentos estruturais ocorrem em função das características geométricas e de produção da estrutura e estão relacionados à deformação que ocorre pela retração e pela fluência do concreto, pela ação das cargas de ventos, além das deformações de origem térmica e higroscópica, comentadas anteriormente.

A NBR 6118 (ABNT, 2003) classifica as ações que podem produzir efeitos significativos na estrutura em:

- **Permanentes:** que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção, sendo também consideradas como

permanentes as que crescem ao longo do tempo, tendendo a um valor-limite constante. São divididas em ações permanentes diretas, constituídas pelo peso próprio da estrutura, dos elementos construtivos fixos e das instalações permanentes; e ações permanentes indiretas, constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão. As ações permanentes devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis à segurança.

- **Ações variáveis:** dividem-se em ações variáveis diretas, constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da chuva e ações variáveis indiretas, constituídas pelos efeitos decorrentes de variações uniformes e não-uniformes de temperatura e pelas ações dinâmicas.
- **Ações excepcionais:** as situações excepcionais de carregamento, cujos efeitos não possam ser controlados por outros meios, como choques ou vibrações.

As deformações provocadas pela ação do próprio peso e demais ações permanentes que atuam nas primeiras idades da estrutura de concreto iniciam-se e ocorrem, em sua maior parte, logo após a desenforma e a retirada dos escoramentos. No entanto, essas deformações ainda ocorrem, solicitando gradativamente a estrutura e podem

ocasionar o desempenho inadequado de elementos não-estruturais que a ela estão ligados (NBR 6118, ABNT, 2003).

Ao se realizar o projeto de revestimentos, chama-se a atenção para a necessidade de se avaliar a deformação lenta da estrutura, pois, segundo Sabbatini (2005), "nos últimos 20 anos, a deformação excessiva das estruturas, sobretudo por causa da fluência do concreto, vem ocasionando frequentemente e de maneira 'epidêmica' rupturas em alvenarias e patologias em revestimentos".

Segundo Neville (1982), o valor da deformação lenta ocorrida após duas semanas a partir do carregamento da estrutura é, em média, 26% da final; após três meses, 55% da final; e após um ano, 76%. Segundo o autor, valores experimentais mostram que a deformação lenta no final de 30 anos da estrutura é de 1,36 vezes a que ocorre após um ano. Estima-se que a deformação lenta após 20 anos possa alcançar de 1,5 a 3,0 vezes mais do que a observada após dois meses de carregamento.

Segundo aquele mesmo autor, a retração do concreto, após seis meses da produção dos elementos, pode variar de 0,2 mm/m a 1,2 mm/m, em função do teor de agregado e da relação água/cimento. As condições de cura também são um fator determinante. Por esses dados, no limite, um edifício de 60 metros pode contrair, por causa da retração, até 72 mm verticalmente.

O deslocamento máximo dos elementos estruturais, em virtude da combinação das diversas ações permanentes,

incluindo fluência e retração do concreto, após a construção da alvenaria, é limitado pela NBR 6118 (ABNT, 2003) a $l/500$ ou 10 mm.

Segundo Franco (1998) e Thomaz (2005), essa deformação é suficiente para introduzir tensões que podem levar as alvenarias e os revestimentos a apresentar problemas, como fissuração ou destacamento, sendo, por isso, considerada inadequada aos sistemas não-estruturais. Casos citados por Franco, Barros e Sabbatini (1994) e Cunha, Lima e Souza (1996) registraram fissuras em paredes produzidas por deformações da estrutura da ordem de $l/1.000$ ou valores ainda menores.

O deslocamento máximo de 10 mm permitido pela norma sugere a possibilidade de colapso da alvenaria, caso ocorresse de uma só vez; entretanto, como a própria alvenaria restringe essa deformação, ela não ocorre completamente e, como afirmam Metha e Monteiro (1994), desenvolvem-se tensões no painel de vedação, as quais podem resultar, no mínimo, em fissuras.

As deformações permanentes podem ser minimizadas se forem adotadas práticas corretas de produção da estrutura de concreto, sobretudo, quanto ao re-escoramento e à cura dos elementos estruturais e também em relação à sequência de fixação da alvenaria.

Sabbatini (1998) defende que a menor deformabilidade dos elementos estruturais pode ser obtida incrementando-se o tempo de escoramento permanente e aumentando-se o percentual de escoras permanentes; além da promoção da

cura úmida do concreto, por pelo menos sete dias, para se obter maior módulo de elasticidade aos 28 dias.

Quanto à fixação superior da alvenaria, recomenda-se postergá-la ao máximo e antecipar também ao máximo os carregamentos antes da sua fixação (por exemplo, executar os contrapisos), além de se adotar a sequência de execução mais favorável possível. Além disso, a fixação deve ser feita com argamassa de baixo módulo de elasticidade e alta aderência, preenchendo totalmente o

espaço entre a alvenaria e a estrutura (Sabbatini, 1998). Essas medidas diminuem as tensões nas alvenarias e nos revestimentos em virtude das deformações das estruturas.

Os deslocamentos dos elementos estruturais sobre paredes devem ser limitados, segundo a ABNT NBR 6118 (2003), aos valores sintetizados na Tabela 3.9.

Como exemplo, tomando-se uma estrutura de concreto produzida com concreto cuja retração reversível seja da ordem de 0,3 a 1,0 mm/m e consi-

TABELA 3.9 Limites para deslocamentos da estrutura.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeito em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, esquadrias e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^{(1)}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{(2)}$
		Movimento lateral em edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente	$H/1.700$ ou $H_1/850^{(3)}$ entre pavimentos ⁽⁴⁾
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^{(5)}$ ou 15 mm

Fonte: ABNT, NBR 6118 (2003).

Notas:

- 1) O vão ℓ deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.
- 2) Rotação nos elementos que suportam paredes.
- 3) H é a altura total do edifício e H_1 é o desnível entre dois pavimentos adjacentes.
- 4) Esse limite se aplica ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, que se deve à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos ocasionados pelas deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_1 representa o comprimento do lintel.
- 5) O valor ℓ refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

Obs.: Todos os valores-limite de deslocamentos supõem elementos de vão ℓ suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

derando-se um edifício de 25 andares, com aproximadamente 80 metros de altura, verifica-se que, se o encurtamento da estrutura não fosse impedido pela presença de vedação, poderia encurtar de 24 mm a 80 mm verticalmente. Parte desse movimento ocorrerá antes da aplicação dos revestimentos; por isso, é importante a observância dos prazos de execução. A outra parte deverá ser absorvida com a previsão de juntas de movimentação ao longo da altura do edifício, uma vez que a camada de revestimento cerâmico tem capacidade limitada de absorver essa deformação, como lembra GOLDBERG (1998).

Assim, na realização do projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas, as deformações da estrutura merecem especial atenção, sendo fundamental que, a partir do projeto estrutural, sejam obtidas informações sobre as flechas imediatas e em longo prazo, passíveis de ocorrer em qualquer região das lajes e vigas que se apoiam sobre paredes e que serão revestidas; a essas informações, deve-se acrescentar aquelas decorrentes das condições de produção.

3.2.4 Ação do vento

Os edifícios também estão sujeitos a deformações causadas por ações variáveis, ou ações dinâmicas, como a ação do vento, das cargas acidentais e choques e vibrações na estrutura de concreto, os quais devem ser avaliadas previamente ao projeto do revestimento, pois ocorrem em sua maior parte na fase de utilização da edificação, depois da aplicação do revestimento.

Entre as diversas ações dinâmicas, o efeito das cargas de vento na estrutura merece atenção especial no projeto de revestimentos. Segundo Salvadori (2002), a pressão do vento promove uma ligeira curvatura do edifício, movendo o seu topo, levando-o a movimentos cíclicos de curta periodicidade.

Esse movimento, mais significativo em edifícios altos, não pode ser visto ou sentido, mas ocasiona esforços de tração e compressão e tensões de cisalhamento entre as camadas de revestimento por causa da flexão das fachadas (Medeiros, 1999). A Figura 3.2 ilustra o movimento de um edifício submetido à ação do vento.

Apesar de estar previsto no dimensionamento das estruturas e de a sua estabilidade estar garantida, o deslocamento por causa da ação do vento pode trazer problemas ao revestimento de fachada, dependendo da sua magnitude. Assim, caberá ao profissional do projeto de revestimentos avaliar a deformação prevista para o edifício quanto aos efeitos do vento; caso este seja significativo, o emprego de juntas de movimentação horizontais é recomendado em todos os pavimentos, como está bem expresso nas normas BS 5385:part2 (BSI, 1991); AS 3958.2 (AS, 1992); NBR 13755 (ABNT, 1996); DIN 18515-1 (DIN, 1998), e como é também destacado por Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998); e Goldberg (1998) e Medeiros (1999). Entretanto, parâmetros para o dimensionamento dessas juntas devem ser buscados no projeto de estrutura e passados como informação ao projetista de revestimentos.

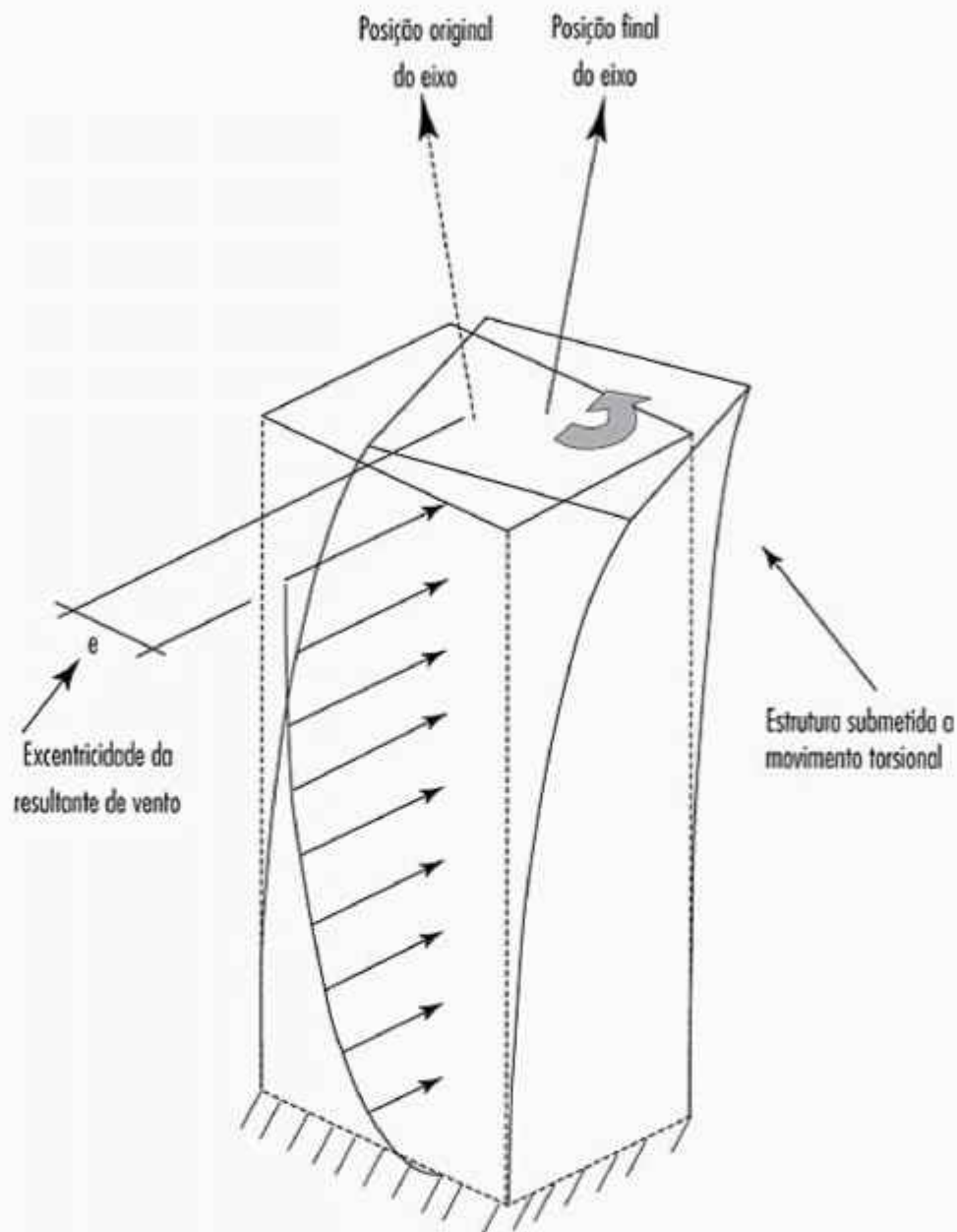


FIGURA 3.2 Exemplo de movimento do edifício submetido à ação do vento.
Fonte: MOREIRA (2002).

3.3 Acomodação dos movimentos

O princípio de funcionamento da junta de movimentação selada é criar no revestimento uma região o mais resiliente possível, de modo que provoque a migração das tensões surgidas no painel, para aquela região, dissipando-as pela deformação de um material elastomérico. Com isso, busca-se manter a integridade do revestimento (SABBATINI et al., 1990).

Os movimentos a que os revestimentos estarão sujeitos determinarão diferentes movimentos nas juntas seladas e, conseqüentemente, tensões de naturezas distintas. A resultante da combinação desses movimentos é de difícil previsão, como pode ser visto pelas colocações feitas no item 3.2, mas deve ser avaliada para se estabelecer a geometria da junta que será necessária (ASTM C1472, 2006).

As juntas podem ser solicitadas por movimentos que tendem a abri-las, fechá-las ou mesmo cisalhá-las, dependendo das ações a que estiverem sujeitas e da posição em que se encontram.

Com base nas deduções propostas por Fiorito (1994), são propostos e ilustrados alguns movimentos diferenciais entre a base e a camada de revestimento, para favorecer o entendimento do efeito des-

ses movimentos nas juntas de trabalho, distintos dos movimentos que ocorrem nas juntas superficiais. Prevê-se, por exemplo, que, por causa da retração do substrato, a junta de trabalho tenderá a se abrir, provocando um esforço de tração no seu material de preenchimento (Figura 3.3).

Nesse mesmo tipo de junta, prevê-se também que, quando há a expansão das placas, causada, por exemplo, pela variação de umidade ou pelo aumento da temperatura, ocorrerá uma tendência de fechamento da junta, ocasionando uma tensão de compressão no material de preenchimento, como ilustra a Figura 3.4.

Por outro lado, se a junta for de superfície, ao ocorrer a retração do substrato, ela sofrerá tensão de compressão, conforme ilustra a Figura 3.5. Nesse mesmo sistema, quando houver a expansão

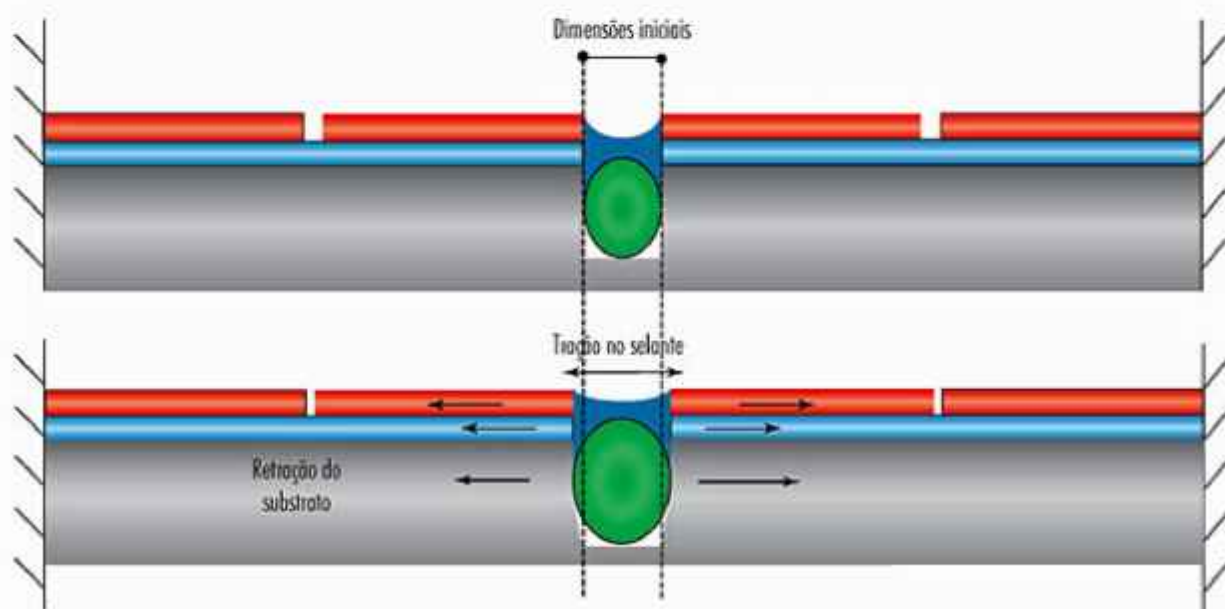


FIGURA 3.3 Junta de trabalho: movimento de tração causada pela retração do substrato.

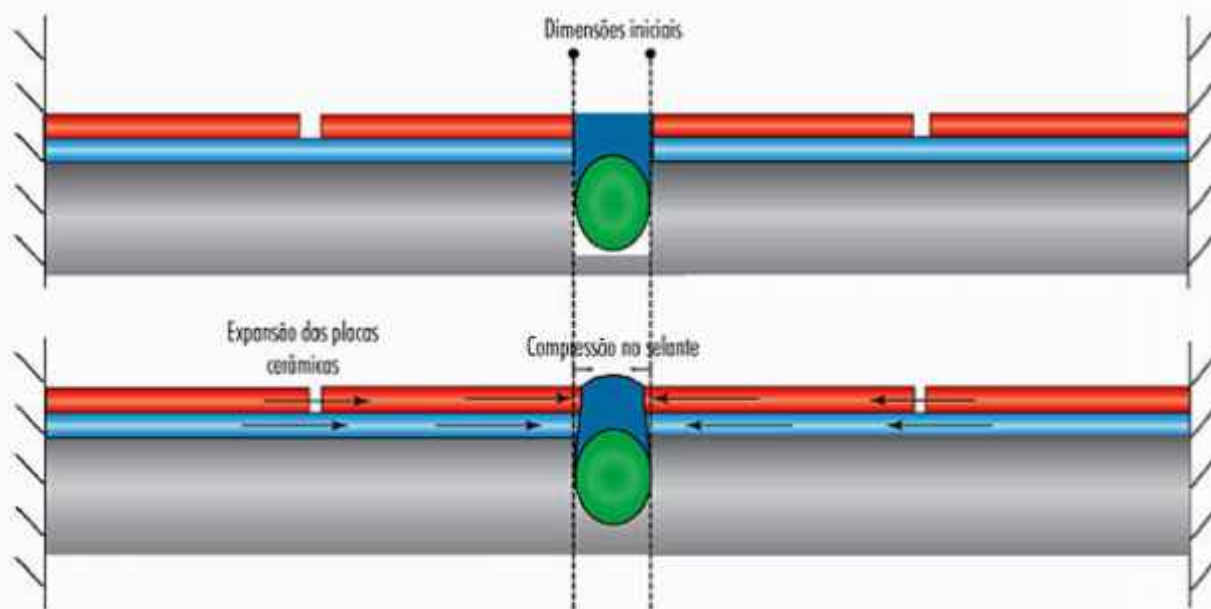


FIGURA 3.4 Junta de trabalho: movimento de compressão causado pela expansão das placas cerâmicas.

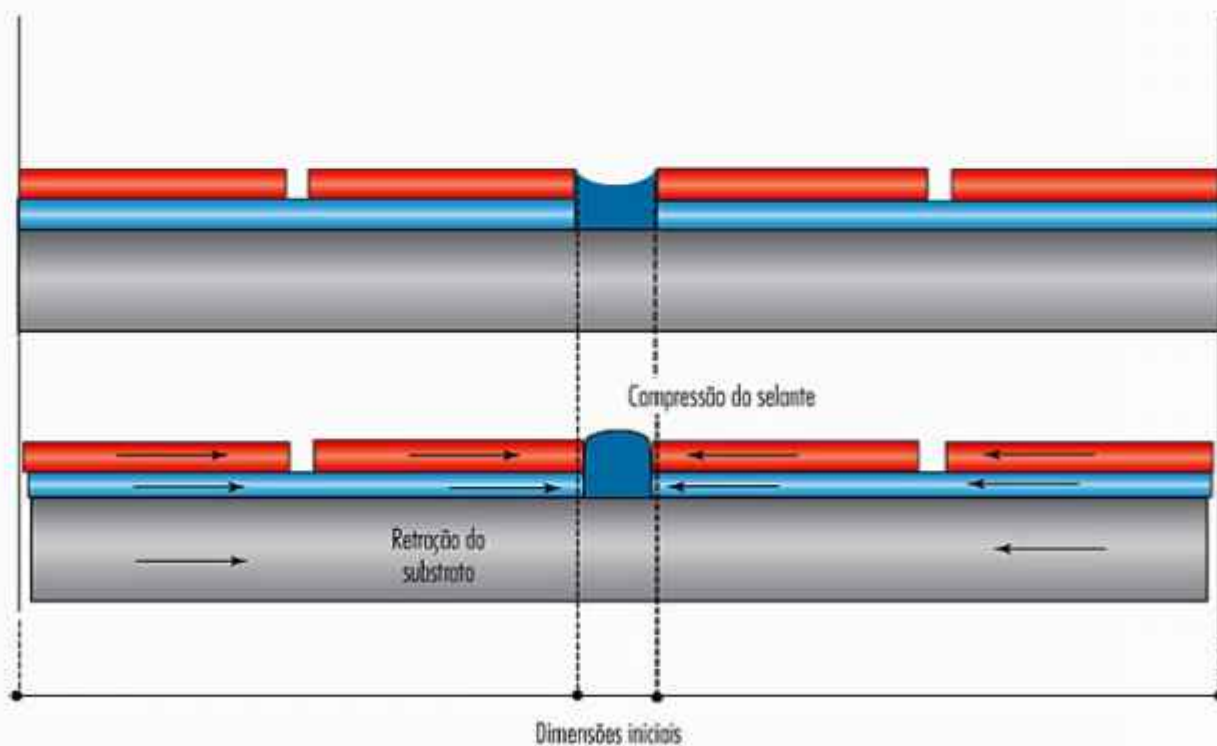


FIGURA 3.5 Junta de superfície: movimento de compressão causado pela retração do substrato.

e a contração das placas cerâmicas (movimentos higroscópicos ou térmicos), a junta de superfície sofrerá tensões de compressão (Figura 3.6(a)) ou de tração, respectivamente (Figura 3.6 (b)).

Palmer (2004), com base nos estudos de Dux e Mullins (1999), Bowman e Banks (1996) e Barnett (1976), afirma que podem ocorrer falhas no sistema de revestimento cerâmico em virtude da excessiva retração por secagem do concreto e da argamassa associada à demasiada expansão da placa cerâmica, levando à falha por cisalhamento na interface entre a camada de fixação e a placa cerâmica. Segundo o autor, a especificação de jun-

tas de movimentação aliada a uma camada de fixação deformável pode evitar esse tipo de ruptura. Uma situação – em uma escala majorada – em que a argamassa da camada de fixação é rígida ou perde sua capacidade de aderência, em um sistema que inclui junta de trabalho, é ilustrada na Figura 3.7.

Observa-se, nesse exemplo, que a camada de fixação é um ponto crítico no sistema de revestimento cerâmico, devendo, pois, possuir resistência de aderência e “flexibilidade” adequada para acompanhar os movimentos diferenciais entre a base e a camada de acabamento.

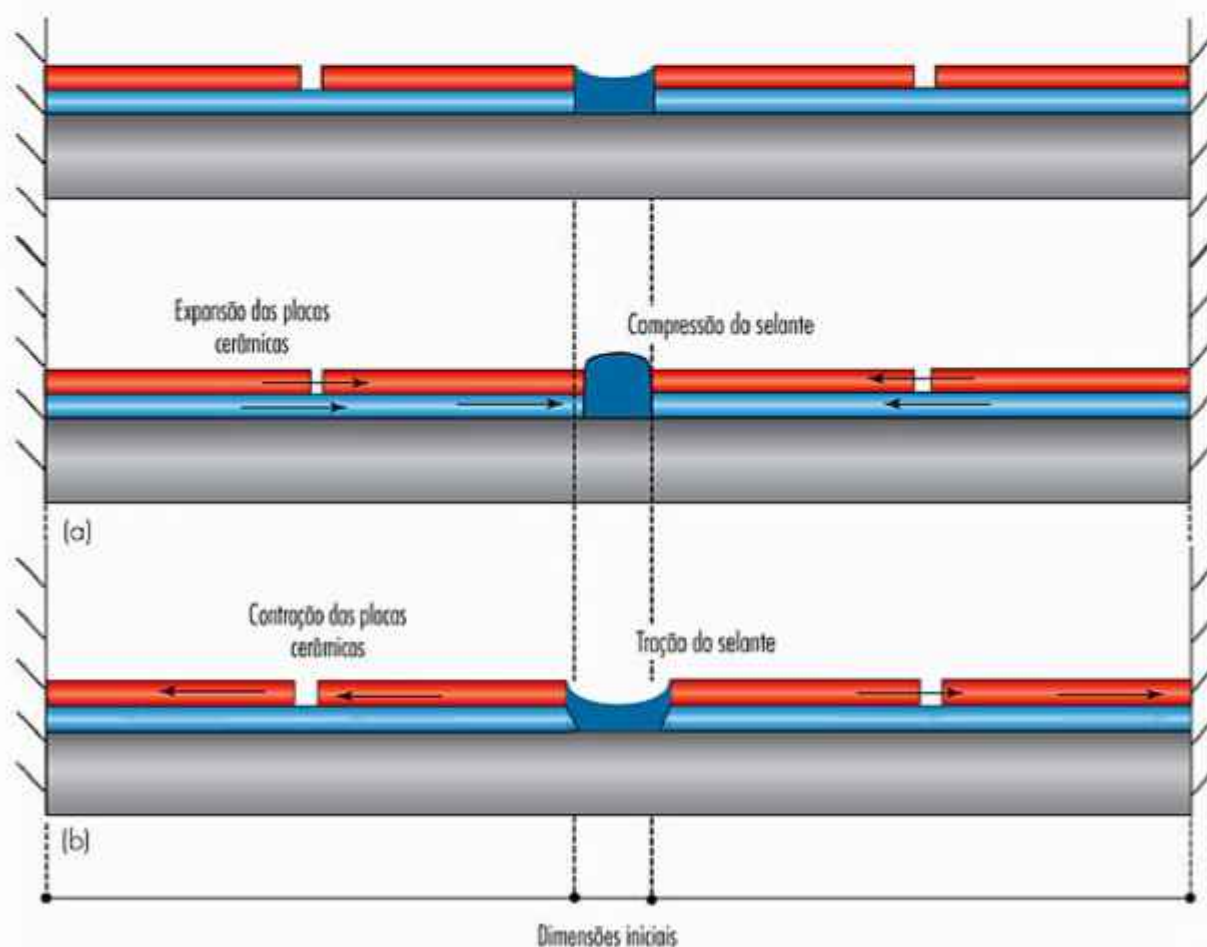


FIGURA 3.6 Junta de superfície: movimento de compressão causado pela expansão das placas cerâmicas (a); movimento de tração causado pela contração das placas cerâmicas (b).

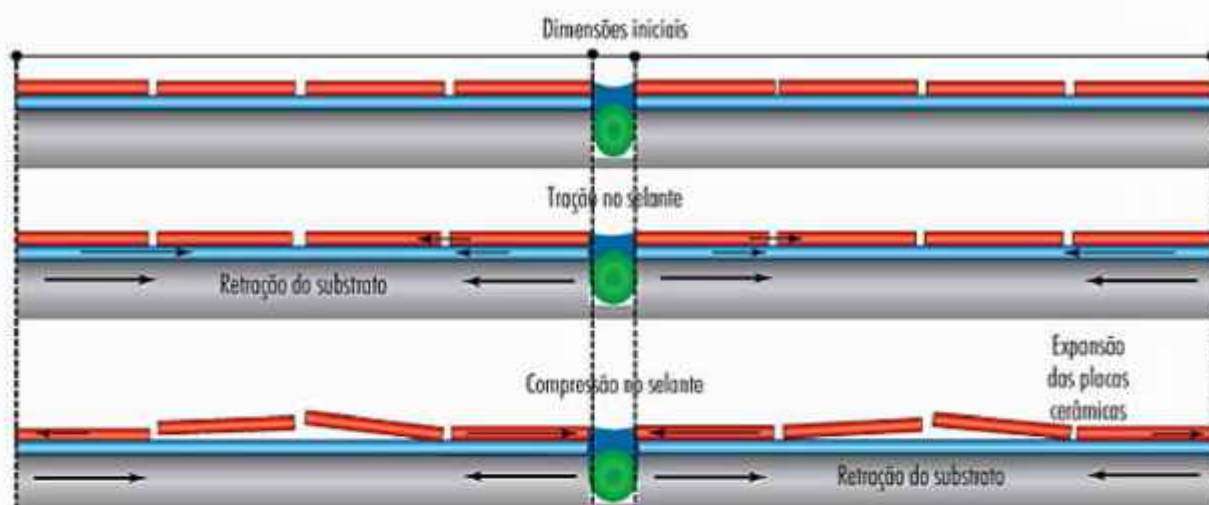


FIGURA 3.7 Exemplo de situação para visualização do comportamento do revestimento: retração excessiva do concreto e da argamassa associada à expansão excessiva da placa cerâmica.

Portanto, a previsão de juntas de movimentação nem sempre é uma solução para os problemas potenciais de destacamento do revestimento cerâmico, sendo de fundamental importância que o projeto de produção esteja voltado para assegurar a capacidade resistente da camada de fixação.

3.4 Considerações finais do capítulo

O comportamento dos revestimentos em face dos muitos movimentos das fachadas é um assunto complexo, abordado por autores como Goldberg (1998), Medeiros (1999), Bortoluzzo (2000), Abreu (2001), entre outros, os quais concluem, de maneira geral, que o emprego de juntas de movimentação em revestimentos é ainda polêmico, uma vez que ainda não foi possível dis-

pensar um tratamento científico preciso ao dimensionamento desses elementos construtivos.

No entanto, alguns desses autores concluem também que o encontro da alvenaria com a estrutura de concreto armado é uma região muito solicitada, em função da movimentação diferencial dos elementos e que este é um ponto crítico de concentração de tensões. Por isso, mesmo que os modelos matemáticos indiquem a não necessidade do emprego de juntas, elas têm sido utilizadas nessas regiões, ora com sucesso, ora com deficiências.

Destaca-se que o desempenho do sistema de revestimentos cerâmicos está intensamente relacionado à aderência entre as camadas e à capacidade de cada uma delas de absorver as deformações que lhes são impostas. Essas propriedades do conjunto contri-

buem para que o revestimento cerâmico como um todo suporte as tensões que serão introduzidas ao longo da sua vida útil. Desse modo, entende-se que, antes de se tratar do alívio das tensões por meio de juntas de movimentação, é importante assegurar os fatores que otimizam as propriedades do revestimento cerâmico.

Além disso, é preciso que se destaque também que são muitas as variáveis que interferem nas propriedades do revestimento, como as características da base; a composição e a dosagem das argamassas; a espessura das camadas; as técnicas de execução e as condições de exposição do revestimento, as quais deverão ser devidamente consideradas para o projeto do revestimento.

Em seu trabalho, Abreu (2001)⁵ concluiu que a utilização de juntas de movimentação em revestimentos aderidos seria polêmica, pois, ao introduzi-las, os

resultados foram esforços muito altos em torno delas, os quais poderiam ser prejudiciais ao comportamento do painel de revestimento.

Entende-se, portanto, que a proposição de juntas, permitindo um maior movimento do painel de revestimento, ao mesmo tempo que pode auxiliar no comportamento de todo o conjunto, também pode trazer riscos, em virtude dessas tensões e da liberdade de movimento que a junta propiciará e que pode resultar em fadiga na aderência entre as camadas na região da junta.

Além disso, cria-se na região da junta um local mais suscetível à perda da estanqueidade, o que poderá comprometer outras funções do revestimento. Portanto, decidir pela utilização ou não da junta deve ser tarefa do projetista de revestimento, que precisa ponderar os fatores intervenientes no projeto e optar pelos de maior importância e menor risco.

5 Abreu (2001), com o objetivo de avaliar o efeito que as juntas de movimentação produzem no comportamento mecânico dos revestimentos, estudou esse comportamento através de modelagem numérica, analisando a resposta do revestimento quando solicitado, ou seja, ele buscou traduzir por expressões matemáticas as leis que se admitem reger o comportamento mecânico dos diferentes constituintes do sistema de revestimento.



Juntas de Movimentação Seladas

4.1 O que são juntas?

A palavra junta é derivada do verbo em latim *jungere*, *junctum*, que significa ligar, unir, associar, adicionar. Isso implica que duas ou mais coisas serão unidas. Junta é um ato de unir, um modo de fazer um ponto de encontro (MARTIN, 1977).

Em tecnologia da construção, entretanto, o termo junta tem o conceito corrente curiosamente ambíguo, uma vez que, além de união, tem, sobretudo, o sentido de separação. É com esse sentido que a junta é definida por Filho Neto (2005) como sendo uma “abertura estreita, fenda ou rebaixo que se deixa longitudinalmente entre duas peças ou elementos construtivos, com a finalidade de separá-los”.

Ambas as definições expressam corretamente o detalhe construtivo junta: detalhe que separa unindo ou que une separando.

Martin (1977) define o termo “junta”, em tecnologia construtiva, como um elemento construtivo formado pelas partes adjacentes de dois ou mais materiais, componentes ou produtos construtivos, quando estes são colocados lado a lado, unidos com ou sem o uso de produtos.

O “espaço regular entre duas peças de componentes idênticos ou distintos”, como define a NBR 13755 (ABNT, 1996), ou o “volume existente entre dois elementos de construção”, como define o DTU 44.1 (AFNOR, 2002), tem um significado mais amplo que vai além de uma simples abertura ou distanciamento entre elementos. As juntas constituem-se em elementos construtivos que devem ser dotados de mecanismo de funcionamento e desempenho determinados.

Quando considerado seu aspecto funcional, as juntas podem ser consideradas um elemento construtivo presente entre dois outros elementos adjacentes, cuja função é proporcionar a união entre estes e o acabamento da sua junção. Ou podem ser concebidas com a função de acomodar os movimentos diferenciais entre os dois elementos adjacentes. Nesse caso, são denominadas juntas de movimentação.

As juntas de movimentação são aberturas projetadas para permitir movimento entre dois elementos adjacentes sem que ocorram danos à sua superfície. No caso de um grande painel de material rígido, por exemplo, poderão ser utilizadas para minimizar as tensões nele atuantes, prevenindo o aparecimento de fissuras (Maclean; Scot, 1995). São usualmente juntas previstas nas estruturas, em revestimentos ou entre elementos construtivos para acomodar

movimentos ou absorver tensões (DIN 18515-1, 1998).

Em engenharia estrutural, as juntas de movimentação são previstas, usualmente, para aliviar as tensões de tração ou compressão que podem ser induzidas por causa das pequenas mudanças de volume em seus elementos que, por sua vez, resultam da exposição ao meio ambiente ou pela imposição e manutenção de cargas, como indica o ACI 504 R-90 (ACI, 1997).

4.2 Funções das juntas em revestimentos

Em revestimentos aderidos de fachadas, a função principal das juntas é minimizar a propagação de esforços neles atuantes e que provêm, usualmente, dos elementos com os quais se conectam (estrutura, vedo, revestimento) e do seu comportamento intrínseco diante das ações do meio ambiente (variação de temperatura e umidade, por exemplo). Nesse caso, é função das juntas minimizar as tensões introduzidas no revestimento. O emprego desse detalhe construtivo objetiva evitar patologias, como o aparecimento de fissuras ou até mesmo o destacamento de partes do revestimento.

Considerando-se as publicações de Sabbatini e colaboradores (1990), BS 5385: part2 (BSI, 1991) e Goldberg (1998),

sintetiza-se, a seguir, as principais funções das juntas de movimentação em revestimentos de fachadas.

- Dissipar tensões geradas por movimentações da base suporte dos revestimentos, em particular do comportamento resultante da interação estrutura-vedação.
- Dissipar tensões geradas por deformações intrínsecas aos revestimentos decorrentes da ação do meio ambiente (variação de temperatura e umidade), permitindo a dissipação de tensões pela subdivisão de extensas áreas de revestimentos em pequenas áreas.
- Separação de revestimentos e componentes do edifício que têm diferentes características térmicas ou higroscópicas.
- Permitir mudanças de planos dos revestimentos.
- Impedir que a superfície revestida sofra com as descontinuidades do substrato, como ocorre na região das juntas estruturais.

Essas funções distintas fazem também que existam diferentes tipos de juntas, com denominações diversas, uma vez que os meios para o cumprimento da acomodação de cada tipo de movimento determinam diferentes tipos de juntas, com distintas formas de preenchimento, configuração e geometria.

A existência de diferentes tipos de juntas levou à existência de inúmeras denominações, as quais geram, por diversas vezes, grande confusão no meio técnico que, por sua vez, tem resultado em muitos problemas e equívocos que prejudicaram a construção mundial (ACI 224 3R-95, 1995).

Para se ter ideia das diferentes terminologias empregadas para juntas em revestimentos aderidos, estão reunidas, na Tabela 4.1, as principais denominações encontradas em diferentes referências bibliográficas.

Essa problemática foi constatada também para a tecnologia de revestimentos cerâmicos, conforme pode ser observado no levantamento da terminologia sintetizado.

Tendo em vista essas diferentes terminologias e a ausência de um consenso sobre elas, no próximo item foi proposta uma classificação específica que será utilizada ao longo deste trabalho.

4.3 Classificação das juntas de movimentação em revestimento

As juntas de movimentação podem ser classificadas segundo diferentes aspectos, destacando-se aqui os mais importantes, quais sejam: suas funções, tipo de material de preenchimento e geometria.

TABELA 4.1 Terminologia empregada para juntas de movimentação em revestimentos.

Fonte	Terminologia
AS 3958.2 (AS, 1992)	Juntas de movimentação: descontinuidades na superfície revestida preenchidas com materiais permanentemente deformáveis com funções de separação da superfície de elementos fixos; subdivisão de grandes áreas em áreas menores; interrupção da superfície onde existirem descontinuidades no substrato, como juntas estruturais.
NBR 13755 (ABNT, 1996)	Junta estrutural: espaço regular, cuja função é aliviar tensões provocadas pela movimentação da estrutura de concreto. Junta de movimentação: espaço regular, cuja função é subdividir o revestimento para aliviar tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento. Junta de dessolidarização ¹ : espaço regular, cuja função é separar o revestimento para aliviar tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento.
DIN 18515-1 (DIN, 1998)	Juntas de movimentação: junta prevista na estrutura, no revestimento ou entre elementos construtivos para acomodar movimentos ou absorver tensões. Juntas de transição: separa revestimentos e componentes do edifício que têm diferentes coeficientes térmicos.
CEN/TR 13548 (CEN, 2004)	Juntas de movimentação: juntas em revestimentos modulados ou substratos, projetadas para acomodar movimentos. São classificadas em juntas estruturais, perimetrais e intermediárias. Juntas estruturais: juntas de movimentação no revestimento cerâmico que correspondem a uma junta estrutural da base. Juntas perimetrais: juntas de movimentação para isolar o revestimento cerâmico dos elementos construtivos adjacentes. Junta intermediária: junta que divide uma grande área de revestimento cerâmico em áreas menores.
MEDEIROS (1999)	Juntas de movimentação: projetadas para absorver tensões geradas por movimentações do revestimento e/ou de sua base suporte e são subdivididas em: Juntas estruturais ou juntas de dilatação: cuja função é absorver as movimentações do edifício como um todo. Juntas de controle: cuja função é absorver tensões provocadas por movimentações do próprio revestimento e/ou da sua base suporte. As juntas de controle são subdivididas em: Juntas de trabalho: utilizadas apenas na camada de revestimento cerâmico, em posições passíveis de aparecimento de fissuras, dividindo os painéis de revestimento (dissipação de tensões geradas por deformações intrínsecas ao revestimento). Juntas de transição: servem para separar as interfaces entre o revestimento e outros componentes de vedação. Juntas de contorno: juntas utilizadas para união ou separação de diferentes materiais na camada mais externa dos revestimentos.

1 As diferenças entre "junta de movimentação" e "junta de dessolidarização", definidas pela NBR 13755 (ABNT, 1996), são observadas quando se recorre às suas recomendações de emprego.

4.3.1 Quanto à função

a) Junta de trabalho

Junta que interrompe a superfície do revestimento nas regiões em que houver descontinuidades no substrato, com a função principal de acomodar os movimentos da sua base suporte, sobretudo aqueles resultantes da interação vedação-estrutura. A junta de trabalho intercepta todas as camadas do revestimento cerâmico e, para que se mantenha a estanqueidade do revestimento, deverá ser projetada como ilustrado na Figura 4.1.

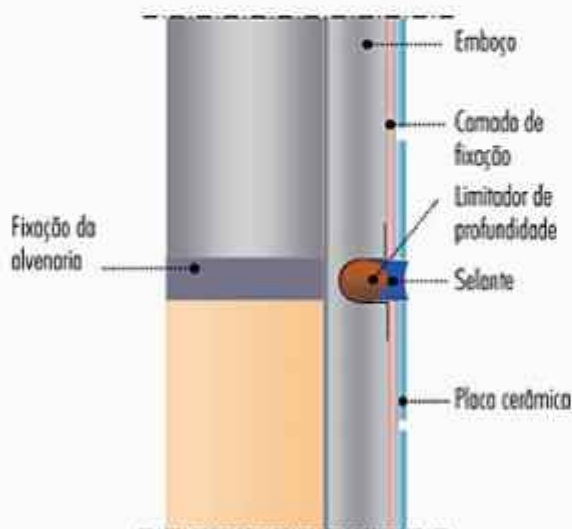


FIGURA 4.1 Junta de trabalho.

b) Junta de transição

A junta de transição interrompe as camadas de acabamento e fixação e tem como função principal permitir a transição entre materiais com diferentes características térmicas na fachada. Deverá ser projetada como ilustra a Figura 4.2.

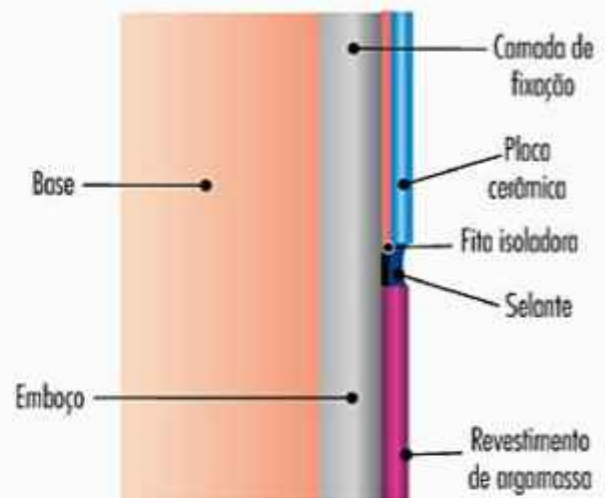


FIGURA 4.2 Junta de transição.

c) Junta de contorno

Junta, cuja função é separar as interfaces entre o revestimento cerâmico e outros elementos construtivos adjacentes, como indica a Figura 4.3. Essa junta intercepta as camadas de acabamento e fixação, mas pode interceptar a camada de emboço em casos em que há necessidade de limitar as tensões nessa camada.

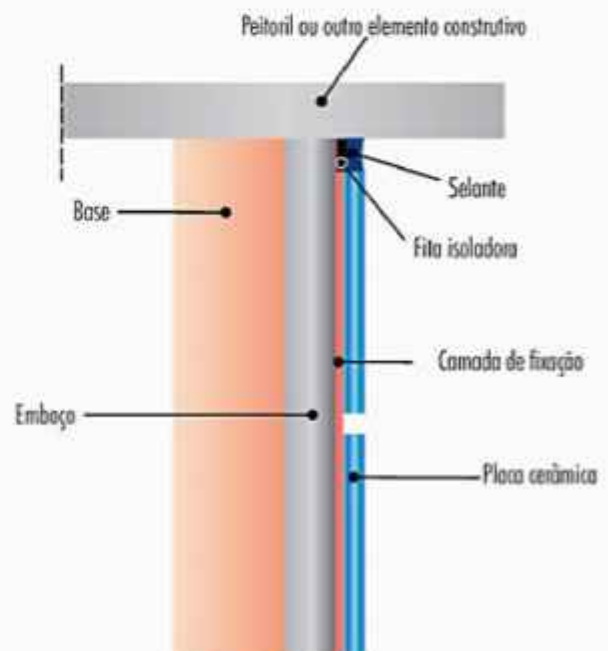


FIGURA 4.3 Junta de contorno.

d) Junta de dessolidarização

Junta, cuja função é dessolidarizar a camada de acabamento da base. Além disso, subdivide em painéis menores o acabamento para acomodar movimentos gerados pelas deformações dessa camada, principalmente aquelas decorrentes da variação de temperatura e da variação higroscópica.

A junta de dessolidarização permite dissipar de tensões pela subdivisão de áreas extensas de revestimentos, sendo constituída conforme a Figura 4.4. Pode também dessolidarizar esta camada, subdividindo-a em encontros de painéis de revestimentos perpendiculares, sendo posicionadas

nas mudanças de direção do revestimento, em quinas internas ou externas, conforme a Figura 4.5.

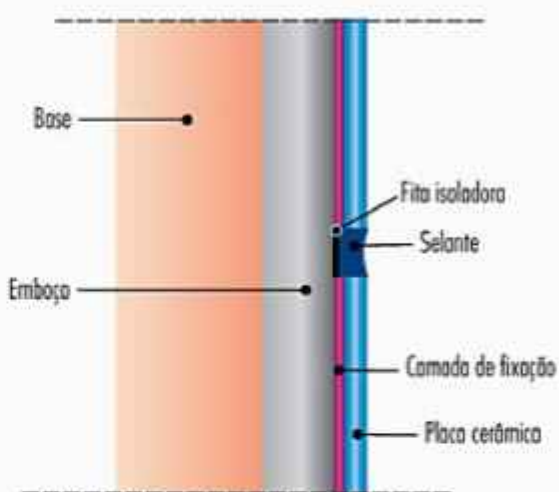


Figura 4.4 Junta de dessolidarização.

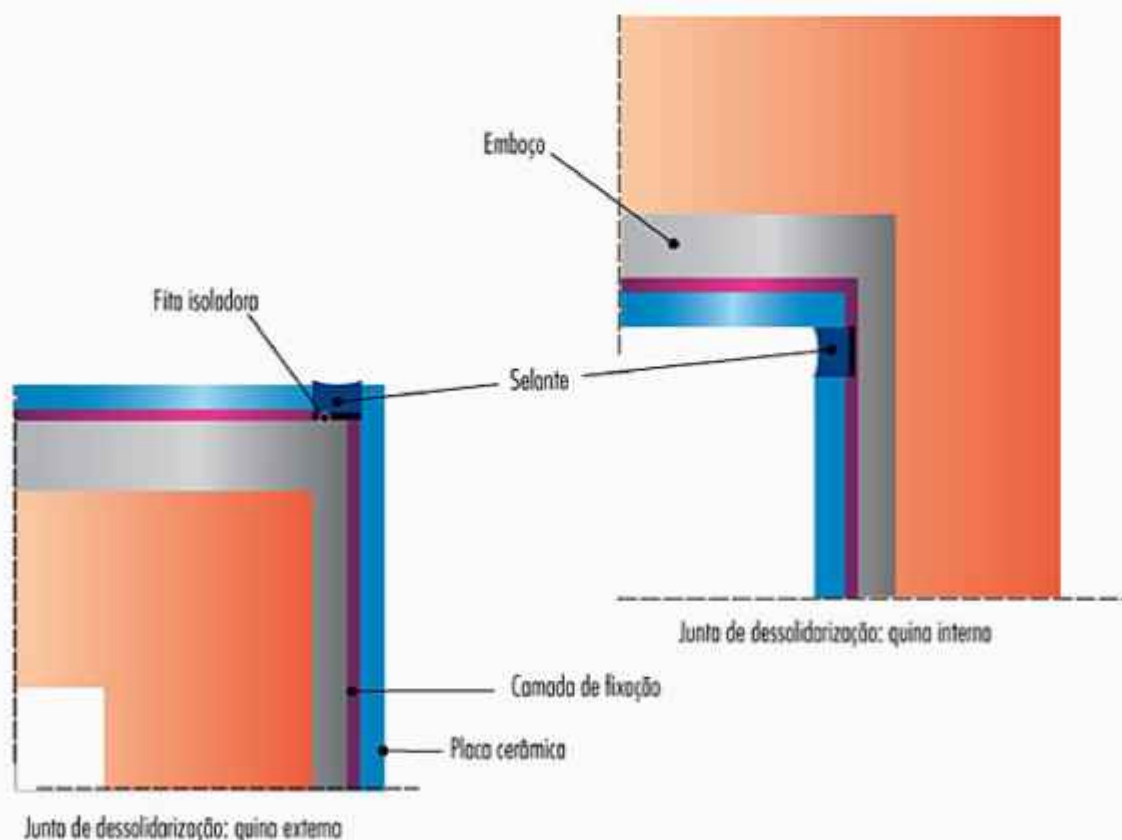


FIGURA 4.5 Junta de dessolidarização – mudanças de planos do revestimento.

4.3.2 Quanto ao tratamento

Por se constituírem em um volume existente entre duas superfícies, paralelas ou perpendiculares de dois elementos construtivos, as juntas de movimentação podem ser preenchidas por materiais que possibilitem a estanqueidade do conjunto e a absorção das movimentações previstas (MARTIN, 1977; AFNOR, 2002).

Assim, são classificadas quanto ao seu tratamento, em juntas seladas ou juntas pré-formadas.

a) Juntas seladas

As juntas seladas são preenchidas por selante em um estado não-curado. Por serem as mais empregadas, serão abordadas detalhadamente no Capítulo 5.

b) Juntas pré-formadas

As juntas pré-formadas são preenchidas por material celular comprimido dentro da junta (Figura 4.6). Podem ser feitas com selante pré-formado extrudado ou com selante pré-formado moldado, sendo a segunda opção a mais utilizada em recuperação de juntas deterioradas.

4.3.3 Classificação quanto ao acabamento

Quando executada com selante, a junta de movimentação pode ser acabada em diferentes perfis (côncava, retangular rasa, retangular profunda e recuada), como ilustra a Figura 2.11. Estes podem resultar em diferentes desempenhos nas mesmas condições de exposições. São aqui sintetizadas algumas informações sobre eles, segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009).

FIGURA 4.6 Junta pré-formada inserida em fachada.

Fonte: Foto fornecida pelo fabricante Jeene Juntas.



a) Junta côncava

Este perfil, moldado em forma de ampulheta, é o mais recomendado e o mais usual em juntas de movimentação e está indicado na Figura 4.7 (a).

b) Junta nivelada

Para esse tipo de juntas de movimentação, o selante é nivelado com

uma superfície do substrato; está indicado na Figura 4.7 (b.)

c) Junta recuada

Esse perfil de junta é similar a uma junta nivelada, com a diferença de que a superfície exposta do selante fica abaixo da superfície exposta do revestimento, conforme indicado na Figura 4.7 (c).

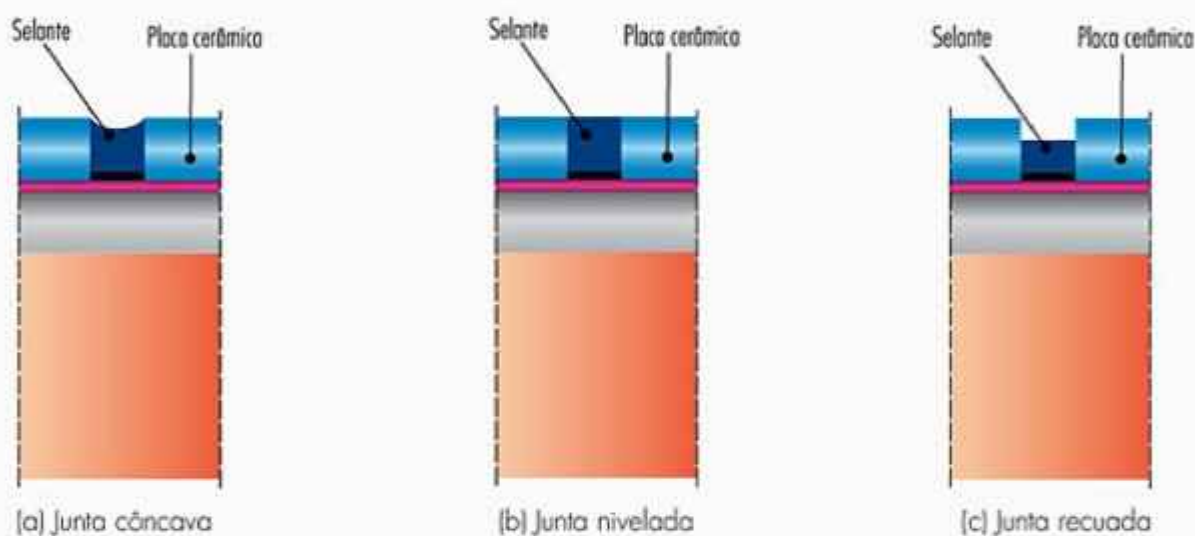


FIGURA 4.7 Juntas de dessolidarização – possíveis tipos de acabamento para superfície do selante. Fonte: ASTM C1193 (ASTM, 2009).



Constituição das Juntas de Movimentação Seladas

A constituição de cada tipo de junta de movimentação varia de acordo com sua função no sistema de revestimento cerâmico, e os principais elementos que podem estar presentes na junta são o limitador de profundidade ou a fita isoladora e o selante, os quais, de uma maneira ou de outra, interagem com o substrato, como mostra a Figura 5.1.

Esses materiais e componentes, assim como aqueles empregados no preparo do substrato e também o próprio substrato, são abordados na sequência.

5.1 Substrato

Pode-se dizer que as superfícies laterais da junta de movimentação, nas quais o selante vai aderir, constituem seu substrato, que é constituído pelas diversas camadas que compõem o sistema de revestimento e podem ser porosas ou não.

São considerados substratos porosos os revestimentos de argamassa, placas de rocha, painéis cimentícios, concreto, materiais cimentícios sem tratamentos superficiais, placas cerâmicas, entre outros. Os não-porosos são: superfícies metálicas, de PVC, de alumínio pintado, placas de vidro e esmaltadas.

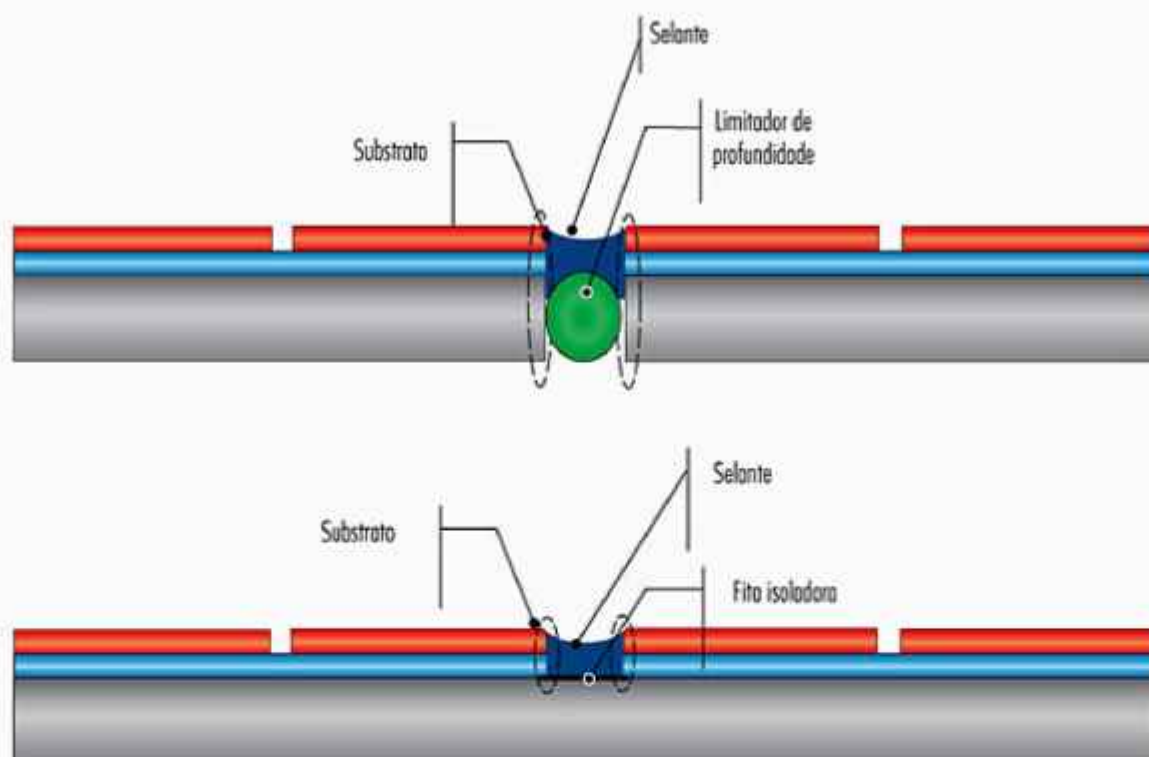


FIGURA 5.1 Ilustração de juntas seladas, com seus principais elementos constituintes.

No caso do revestimento cerâmico de fachada, todas as camadas de revestimento são consideradas porosas, inclusive as placas cerâmicas de baixa absorção de água como as placas de porcelanato. Todas essas camadas podem constituir a interface com o selante (Figura 5.1).

Uma condição que dificulta a adesão do selante ao substrato poroso é a presença de umidade em seus poros, mesmo quando, aparentemente, se encontra seco. Se houver umidade, essa poderá ser liberada durante o processo de cura do selante, prejudicando-a. Nesses casos, a imprimação¹ do substrato pode minimizar ou até mesmo evitar

essa migração de umidade, minimizando também seus efeitos nocivos. Essa imprimação deve ser realizada imediatamente antes da aplicação do selante e será abordada a seguir.

Outro fator que pode prejudicar a adesão do selante ao substrato é a sua incompatibilidade com produtos químicos nele presentes, tais como desmoldantes, agentes de cura ou outros elementos que possam ficar impregnados nas superfícies de aderência. A presença de poeira ou nata de cimento na superfície do substrato também possibilita uma falsa adesão. Por isso, é essencial que esses materiais sejam removidos dos poros da superfície do

¹ Imprimação: termo amplamente utilizado no meio técnico e que significa a aplicação de primer nas superfícies da junta.

substrato. Além disso, substratos friáveis, como revestimento de argamassa e algumas placas de rochas podem ser menos resistentes que os selantes, podendo ocorrer a fratura do próprio substrato.

5.2 Membrana impermeabilizante

A membrana impermeabilizante é um recurso construtivo que tem sido empregado por alguns projetistas buscando-se maior segurança na estanqueidade da fachada (Figura 5.2).

Goldberg (1998) recomenda a utilização da membrana impermeabilizante, afirmando que não importa quão bem instalado esteja o selante, este poderá não ser 100% eficaz como barreira contra infiltração de água. Segundo esse autor, apesar de existirem várias outras técnicas para fornecer uma segunda barreira para a água nas juntas seladas, uma fina membrana estruturada é a solução mais comum.

A membrana impermeabilizante deve ser executada previamente à colocação do limitador de profundidade, a partir da aplicação de demãos de uma película de nata de cimento com adição de polímeros, usualmente de base acrílica, associada a uma tela de poliéster (Figura 5.3).

5.3 Limitador de profundidade

O limitador de profundidade do selante é um material compressível, pré-fabricado, cuja superfície impede a aderência do selante. E, como o próprio nome diz, tem a função de limitar a profundidade da junta, para evitar o consumo excessivo do selante. Além dessa função principal, também são suas funções:

- Definir a profundidade da junta que receberá o selante, garantindo o seu fator de forma e controlando a quantidade de material utilizada, pois segundo Rocha (1996), o selamento muito espesso sofreria gran-

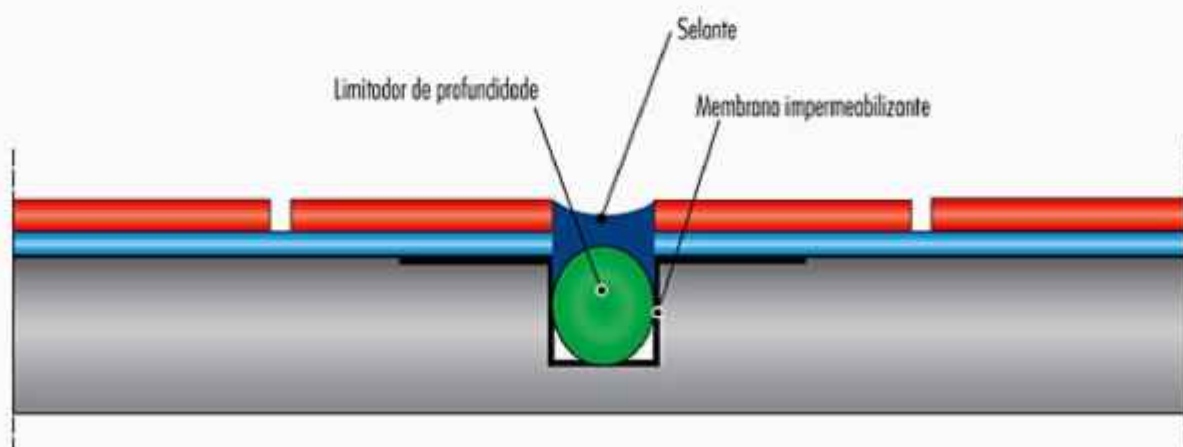


FIGURA 5.2 Ilustração de junta com membrana impermeabilizante.

des tensões, tornando-se passível de ruína prematura.

- Permitir o movimento do selante, contribuindo para que não haja adesão na sua terceira face – a superfície do fundo do sulco realizado – o que restringiria a sua movimentação e aumentaria consideravelmente as chances de ocorrer sua ruptura (ROCHA, 1996).
- Apoiar e dar firmeza ao selante durante a aplicação e o acabamento, forçando-o a ter contato com as faces laterais do sulco, auxiliando na adequada adesão do selante e, por conseguinte, no correto funcionamento da junta (LEDBETTER; HURLEY e SHEEHAN, 1998).

Esse componente, comumente conhecido pelo nome de uma de suas marcas comerciais – “Tarucel” –, é mais encontrado no mercado na forma de cor-



FIGURA 5.3 Membrana impermeabilizante aplicada na cavidade da junta.

Fonte: MONACELLI, 2005.

dões cilíndricos, com diâmetros de 6 mm a 75 mm (Figura 5.4).

A ASTM C1193 (ASTM, 2009) apresenta as características dos materiais e as recomendações de uso do limitador de profundidade, sendo aqui sintetizadas as suas informações:

- São espumas que podem ter uma estrutura interna de células abertas, fechadas, ou uma combinação de ambas.
- As espumas de células abertas, normalmente de poliuretano, não possuem uma película de recobrimento em sua superfície. Esse tipo de espuma tem baixa densidade e é facilmente compressível.
- A espuma de células fechadas é usualmente de polietileno; mas pode ser também de neoprene, butil ou EPDM ou uma combinação destes. É extrudada em diversos tamanhos e formas e possui uma película

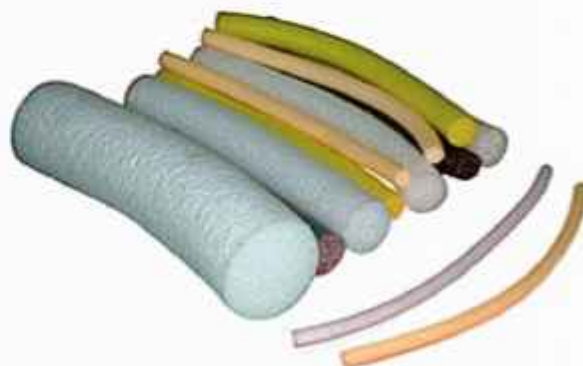


FIGURA 5.4 Ilustração de componentes empregados como limitador de profundidade do selante.

em sua superfície que lhe confere propriedade de ser não absorvente.

- Em virtude de sua estrutura, a espuma de células fechadas tem baixa densidade e é menos compressível que a de células abertas.

É importante ressaltar que, por sua porosidade, as espumas de células abertas não são recomendadas para a aplicação em juntas de fachadas. Além disso, não devem ser utilizados outros tipos de materiais, como mangueira de PVC, sacos de cimento, corda de sisal, jornal, papelão ou outros materiais residuais da obra. É importante lembrar que esse componente da junta deve ser compatível com o selante e capaz de resistir às permanentes deformações antes e durante a sua aplicação. Os requisitos para a correta especificação do limitador de profundidade são estabelecidos pela ASTM C1330-02 (2007), sendo eles: absorção de água, compatibilidade com o selante, densidade aparente e resistência à tração longitudinal e transversal.

5.4 Fita isoladora

A fita isoladora, assim como o limitador de profundidade, também cumpre a função de evitar a adesão do selante ao fundo da junta e é utilizada em juntas cuja profundidade não possibilita a utilização do limitador de profundidade.

Para o adequado desempenho da junta, é fundamental que o selante esteja aderido apenas nas duas laterais. A sua adesão em uma terceira face – fundo da junta ou no próprio limitador de profundidade – pode ser prejudicial ao desempenho da junta, pois, além de ter seu movimento limitado, o selante pode vir a romper ao longo do tempo (Figura 5.6).

A fita isoladora é produzida à base de polietileno expandido de células fechadas (Figura 5.7). É autoadesiva e sensível à pressão. Suas características superficiais impedem a ligação adesiva do selante. Para juntas preenchidas por selantes à base de poliuretano, as fitas adesivas de papel crepe também podem ser utilizadas.

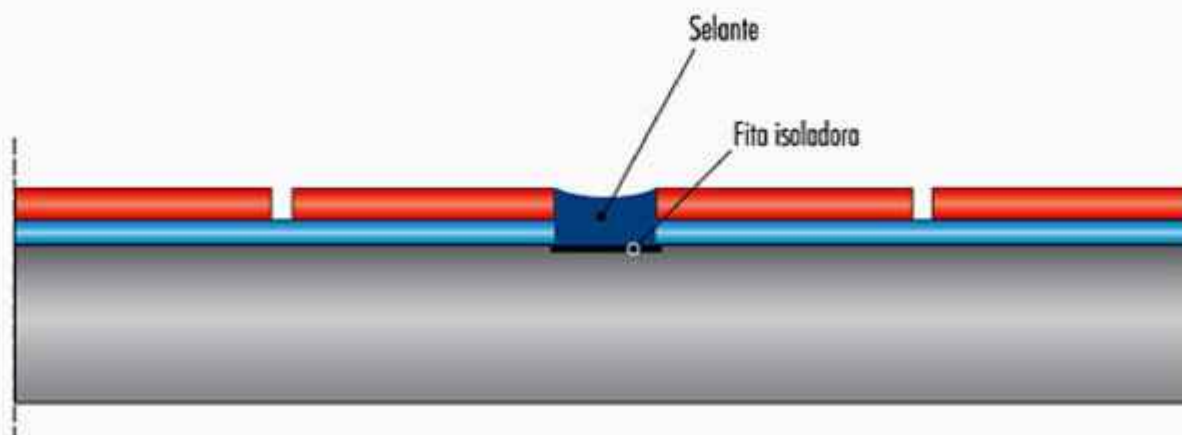


FIGURA 5.5 Ilustração de junta de dessolidarização: uso de fita isoladora.

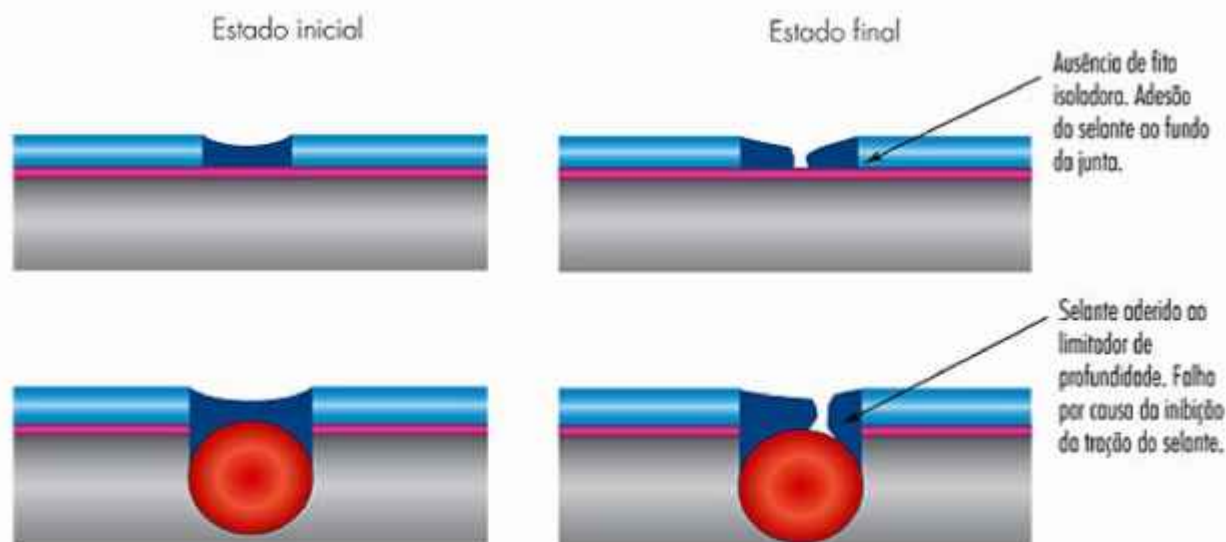


FIGURA 5.6 Configuração de juntas seladas em movimento – efeitos da adesão ao terceiro lado.



FIGURA 5.7 Exemplo de fitas de polietileno expandido de células fechadas.

Fonte: Junseal.

5.5 Primer

O *primer* é um produto que tem a função de melhorar a adesão entre o

selante e os substratos, sendo também responsável por assegurar a compatibilidade entre eles. Deve ser aplicado sobre a superfície do substrato, antes da aplicação do selante, para permitir o completo desenvolvimento da ligação entre as superfícies de ambos.

O *primer* funciona de três maneiras: primeiro, mudando as características químicas da superfície do substrato, tornando-a mais adequada ao selante; segundo, estabilizando a superfície do substrato, preenchendo os poros e fortalecendo áreas fracas e, por último, reduzindo a pressão capilar da umidade através da superfície do substrato (ASTM C1193, 2009).

Além de ser promotor da efetiva ligação entre selante e substrato, o *primer* também contribui para a durabilidade da junta, mantendo a adesão do selante, mesmo sob condições ambientais agressivas. Também previne o manchamento

dos substratos, impedindo a migração de solventes presentes no selante, durante ou após a sua cura (LEDBETTER, HURLEY e SHEENAN, 1998).

A inadequada preparação dos substratos, seja pela omissão ou pelo uso excessivo de *primer*, pode causar a perda prematura da adesão entre o selante e os componentes da junta, sendo essa identificada como a maior causa de falhas em juntas seladas. Assim, sobretudo nas placas cerâmicas, é necessário considerar o adequado preparo da superfície, devendo-se sempre consultar o fabricante do selante sobre a necessidade do uso do *primer*.

5.6 Selantes

Os selantes elastoméricos são produtos à base de polímeros, cuja função principal é selar efetivamente a junta entre dois substratos. Uma vez aplicado, o selante deve apresentar características de adesão, coesão e deformabilidade que lhe permitam assegurar a estanqueidade em condições previamente estabelecidas seja em relação à agressividade do ambiente, seja de movimento da junta, apresentando durabilidade compatível com as exigências de projeto.

O selante pode apresentar consistência fluida, sendo chamado de autonivelante, ou ter elevada viscosidade, sendo, então, denominado tixotrópico. Apenas o último tipo é recomendado para

aplicação em fachadas. São moldados no local, podendo seu comportamento, quando curados, variar de elástico a plástico, como sintetizado na Tabela 5.1

Os selantes podem ser monocomponentes ou multicomponentes e, segundo o TCA (2008), ambos são adequados aos revestimentos cerâmicos de fachadas. O monocomponente cura em contato com o meio ambiente, por secagem ou na presença da umidade atmosférica, e exige um tempo de cura maior que um selante multicomponente. Não necessita ser misturado e é fornecido, geralmente, em tubos ou em embalagem com aplicador, pronto para ser aplicado por extrusão. É formulado propositadamente para ter um tempo de cura lento, para que seu prazo de permanência na embalagem seja prolongado.

De acordo com a ASTM C1193 (ASTM, 2009), não é recomendado o uso de um selante monocomponente em uma região muito seca², uma vez que, pela ausência da adequada umidade ambiente, sua cura completa pode não acontecer em um período de tempo razoável.

Os selantes multicomponentes são compostos tipicamente por dois materiais ou, em alguns casos, três. São misturados no local, imediatamente antes da aplicação e possuem como vantagem principal sobre o monocomponente a cura relativamente rápida após sua mistura e, por isso, são mais utilizados em locais sujeitos a trânsito. Entretanto, como desvantagens na utilização dos selantes

2 A norma não define a umidade relativa que considera para uma região muito seca.

multicomponentes existem os riscos de falhas que podem ocorrer na realização da mistura manual, como dosagem incorreta de um componente em relação ao outro, que pode resultar na obtenção de propriedades inadequadas ao desempenho esperado do selante; mistura incorreta ou em tempo insuficiente, que podem ocasionar a introdução de ar e, conseqüentemente, de bolhas no selante.

A Tabela 5.2 apresenta a classificação dos selantes pela ASTM C920 (ASTM,

2008), quanto ao tipo de aplicação e o substrato para os quais são fabricados.

Segundo o TCA (2008), quando classificados quanto ao tipo de substrato, os selantes adequados ao uso de revestimentos cerâmicos de fachadas, são tanto os classificados para uso em argamassa (Use M) quanto os para vidro (Use G). Os critérios indicados pelo TCA (2008), para revestimento cerâmico, encontram-se destacados na Tabela 5.2.

TABELA 5.1 Comportamento dos selantes (FERME e OLIVEIRA, 2003)

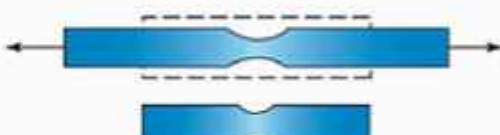
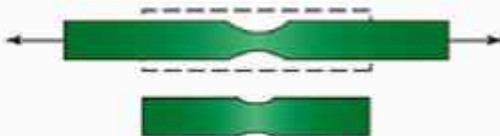
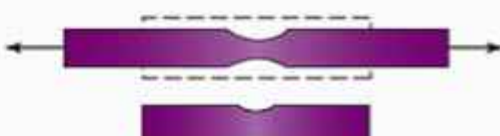
Elástico	Apresentam comportamento elástico, ou seja, deformação proporcional à tensão e retornam ao estado original após a remoção dessa tensão.	
Elastoplástico	Comportamento predominantemente elástico, mas tendem a sofrer deformações plásticas quando solicitados acima do seu limite elástico e, nessa situação, após a remoção da tensão, não retornam totalmente ao seu estado original.	
Plastoelástico	Comportamento predominantemente plástico, ou seja, após a retirada do esforço a que foram submetidos, não retornam totalmente ao seu estado original, mas apresentam algum comportamento elástico quando solicitados abaixo do seu limite elástico.	
Plástico	Apresentam escoamento sob tensão, com deformações plásticas, não retornando ao estado original após a remoção da tensão.	

TABELA 5.2 Classificação dos selantes elastoméricos quanto ao tipo de aplicação e ao substrato.

		Classe	Descrição
Uso de Selantes Elastoméricos	Tipo de Aplicação	Use T	Selante designado para uso em áreas de tráfego de pedestres e veículos como calçadas, praças, deques, parques e garagens.
		Use NT	Selante designado para uso em áreas não-trafegáveis.
		Use I	Selante designado para uso em juntas que estão sujeitas continuamente a líquidos.
	Substrato	Use M	Selantes para uso em substratos de argamassa.
		Use G	Selantes para uso em substratos de vidro.
		Use A	Selantes para uso em substratos de alumínio.
		Use O	Selantes para uso em outros substratos

Fonte: ASTM C920, 2008.

5.7 Propriedades e controle de qualidade dos selantes

O desenvolvimento da tecnologia de produção de juntas seladas está intrinsecamente relacionado ao desenvolvimento da indústria de selantes, a qual vem aprimorando constantemente seus produtos, visando atender às necessidades de cada situação de uso, a partir de suas diferentes propriedades, cujas principais são sintetizadas na sequência. São sintetizados também os métodos de ensaios relacionados ao seu controle de qualidade.

5.7.1 Capacidade de movimentação

A capacidade de movimentação de um selante é a amplitude máxima de movimento que ele pode aceitar após sua cura, mantendo um selamento eficaz (AFNOR, 2002). É uma das mais im-

portantes propriedades, expressa pelo *fator de acomodação* do selante, definida por Ferme e Oliveira (2003) como “a taxa de movimentação total entre a máxima contração e o máximo alongamento que o selante vai suportar, expresso em percentual da largura inicial da junta”. Assim, um selante, cujo fator de acomodação é ± 25 , terá a capacidade de se movimentar até 25% da dimensão original da largura da junta, seja por expansão ou contração.

Os selantes disponíveis no mercado são usualmente classificados segundo seu fator de acomodação; entretanto, deve-se observar se são classificados segundo as normas ISO ou ASTM. A ISO 11600 (2002) classifica os selantes em faixas $\pm 7,5$; $\pm 12,5$; ± 20 ; ± 25 , sendo os de classes 20 e 25 – subclassificados em alto módulo (HM) ou baixo módulo (LM) – indicados para juntas de movimentação por possuírem características elásticas (BASA, 1999). A norma ASTM

C920 (ASTM, 2008), por sua vez, é similar à ISO 11600, mas não idêntica, pois classifica os selantes elastoméricos para juntas em uma faixa mais ampla com as categorias $\pm 12,5\%$; $\pm 25\%$; $\pm 35\%$; $\pm 50\%$ e $+ 100\%$ e $- 50\%$.

A ASTM C1193 (ASTM, 2009) observa que essas taxas de movimentação são obtidas em condições de execução ideais, controladas em laboratório. O potencial de o selante desenvolver sua completa capacidade de movimentação dependerá do projeto da junta, de um adequado preparo do substrato, da correta instalação dos constituintes da junta e da correta aplicação do selante.

5.7.2 Recuperação elástica

Quando as tensões que causam alongamento são retiradas, o selante pode voltar à sua largura inicial (recuperação completa) ou pode dispor somente de uma recuperação parcial. A capacidade do selante de recuperar sua largura inicial é chamada de recuperação elástica, a qual, sendo maior que 60%, segundo a norma ISO 11600 (ISO, 2002), determina que é elastomérico.

Há selantes elastoméricos com elevada capacidade de retornar à sua dimensão original. Por outro lado, os selantes plásticos, quando solicitados por um movimento, recuperam apenas parcialmente a sua dimensão original (COGNARD, 2004).

5.7.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do selante é, possivelmente, sua mais preocupante

propriedade em uso (Ledbetter, Hurley e Sheenan, 1998). O selante deve ter módulo de elasticidade sempre inferior ao de seu substrato, caso contrário, poderá ocorrer uma falha na interface entre ambos, podendo-se romper a lateral da junta. Nesse caso, os produtos de alto módulo não são recomendados nas aplicações em substratos de baixa integridade ou resistência (KLOSOWSKI, 1989).

Segundo a ISO 11600 (2002), os selantes com módulo menor que 0,4 MPa, quando ensaiados pela ISO 8339 (2005), são classificados como selantes de baixo módulo. Acima desse valor, são considerados de alto módulo. Os selantes de módulo muito baixo são desejáveis na maioria das juntas de movimentação; entretanto, segundo Klosowski (1989), a fim de viabilizar economicamente a produção da junta, os selantes de alto módulo também podem ser especificados, combinando-se sua capacidade de adesão e de movimento com a resistência mecânica do substrato.

5.7.4 Dureza

A dureza do selante, após sua aplicação e cura, é a medida utilizada como verificação rápida do estado da cura e dos efeitos do tempo e do envelhecimento na estrutura do polímero. A dureza dos selantes varia com a temperatura. Alguns podem ter um aumento grande na dureza após o envelhecimento ou exposição ao calor. Segundo Klosowski (1989), deve-se ter cuidado com aqueles que endurecem rapidamente nos primeiros meses ou primeiros anos,

pois podem ter seu desempenho comprometido e, por consequência, a diminuição da sua vida útil.

Panek e Cook (1991) presumem que as faixas de módulo do selante estão associadas à dureza Shore A. Observam que os selantes de baixo módulo permanecem na faixa de 10 a 20 Shore A, os de médio módulo incluem-se na escala de 20 a 35 Shore A e que os de alto módulo se enquadram na escala de 30 a 65 Shore A.

A dureza do selante é medida pela avaliação da resistência à penetração de uma agulha normalizada, realizada com auxílio de um durômetro "Shore A", com escala de 0 a 100, e pode ser realizada pelo método de ensaio ASTM C661 (ASTM, 2006).

5.7.5 Adesão e coesão

As propriedades de adesão e coesão do selante são responsáveis pela estanqueidade da junta. A adesão do selante está relacionada à sua capacidade de permanecer aderido ao substrato. Obtê-la e mantê-la por um longo prazo é o desafio que se tem ao se produzir uma junta. Segundo Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998), a adequada adesão depende do contato efetivo entre materiais adesivamente compatíveis e da ausência de camadas que apresentem superfícies fracas ou contaminadas. Desse modo, devem ser selecionados

sistemas apropriados para cada tipo de substrato, desde os selantes aos demais constituintes da junta – *primer*, fita isoladora ou limitador de profundidade –, que estarão em contato com o selante e devem ser compatíveis com ele.

A coesão é a propriedade do selante que lhe permite manter-se homogêneo e íntegro, sem que ocorra a ruptura interna, quando solicitado até o limite de suas propriedades. Um movimento da junta, maior do que a capacidade do selante de suportá-lo, pode levar à ocorrência de falha dentro do corpo do material do selante. As falhas em selantes são normalmente observadas como falhas de coesão do próprio selante ou de aderência entre o selante e o substrato, ou ambos. Esses tipos de falhas serão abordados no capítulo seguinte. As propriedades de adesão e coesão dos selantes elastoméricos podem ser avaliadas segundo o método de ensaio da ASTM C719-93 (ASTM, 2005), sob movimentação cíclica (Ciclo de Hockman), a partir do emprego do equipamento de tração e compressão ilustrado na Figura 5.8. Esse método de ensaio é um procedimento acelerado para avaliar o desempenho de selantes sujeitos à imersão em água, tração e compressão cíclicas e mudanças de temperatura, em condições de cura previamente estabelecidas.

Carbary e Kimball (2005)³ recomendam que, além do teste de adesão realizado

3 Laurence Carbary e David J. Kimball são membros do Comitê C24 da ASTM e consultores da DOW CORNING CO e estiveram presentes em reunião do Grupo selantes e desmoldantes. CONSITRA (Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassa). Reunião ocorrida na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 18 abril de 2005.

quando da avaliação de movimentação cíclica, seja realizado também o teste de adesão superficial (adhesion-in-peel), pelo método de ensaio ASTM C794 (ASTM, 2006), pelo qual se determina a força de adesão do selante ao substrato e as características e propriedades de aderência de um selante elastomérico.

Segundo essa norma, o resultado obtido do teste denota a capacidade de um selante curado manter sua aderência ao substrato, sob severas condições. Esse método de ensaio é empregado por alguns fabricantes para avaliar as características adesivas da combinação selante/*primer* com substratos.

5.7.6 Resistência ao envelhecimento

A resistência ao envelhecimento do selante é a sua capacidade de suportar a exposição à radiação solar, bem como o envelhecimento em virtude do calor e da contaminação atmosférica, os quais reduzem gradativamente a sua durabilidade.

Alguns selantes podem exibir também a perda do peso como um resultado do envelhecimento, por causa da perda do solvente. Outros podem somente se tornar mais rígidos, tendo reduzida sua capacidade de movimentação, ao envelhecer pelo excesso de calor.

A resistência ao envelhecimento do selante pode ser avaliada por dois métodos de ensaio da ASTM: o C792-04 (ASTM, 2008), que analisa o envelhecimento do selante causado pelo calor, avaliando-se a perda de peso, craquelamento e riscos; e o C793 (ASTM, 2005), que permite avaliar a ação acelerada do tempo. Os requisitos estabelecidos pela ASTM C920 (ASTM, 2008) estão descritos no capítulo 6, na tabela 6.5.

5.7.7 Manutenção da cor e compatibilidade

O manchamento do selante em uma fachada é uma ocorrência esteticamente indesejável. Segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009), a mudança de cor dos selantes pode ser causada por eflo-

FIGURA 5.8 Equipamento de compressão e tração (Hockman Cycle), empregado na avaliação da adesão e coesão de selantes.
Fonte: Dow Corning CO.



rescência (blooming), por absorção da radiação ultravioleta e radiação visível, por calcinação (chalking) e poluentes na atmosfera, por partículas, por soluções de limpeza e por absorção de materiais que se encontram adjacentes às juntas de movimentação. Segundo esse documento, os próprios materiais constituintes da junta e os acabamentos do seu entorno, com o tempo e a exposição aos raios ultravioletas, podem escoar lentamente ou soltar materiais plásticos dentro do selante, causando a mudança de cor ou perda de adesão. Também, os acessórios podem ter resíduos superficiais ou contaminantes que podem migrar para dentro do selante, causando efeito nocivo.

A mudança de cor do selante é uma evidência potencial de reação química prejudicial e ainda que inicialmente não haja perda de adesão, a alteração da cor pode ser indicio de futura perda de adesão.

Outra característica do selante, que também pode ser afetada pela incompatibilidade com os demais constituintes, é a capacidade de cura completa do selante, o que prejudica o desenvolvimento de sua resistência.

A norma de especificação de selantes elastoméricos, a ASTM C920 (ASTM, 2008), indica o método de ensaio da ASTM C510-05a (ASTM, 2005), para determinar se uma amostra de um selante pode manchar o substrato e se o próprio selante mudará a cor quando exposto ao tempo.

Na opinião de Carbary e Kimball (2005)⁴, no caso dos revestimentos cerâmicos, este não é o melhor método, pois é mais aplicável para avaliar a compatibilidade dos selantes com mármore e granitos. Eles recomendam o emprego do método da ASTM C1248 (ASTM, 2008), que avalia a probabilidade de um selante causar uma mancha em um substrato poroso por causa de sua exsudação química e consiste em sujeitar amostras de selantes a esforços de compressão e, ao mesmo tempo, a quatro condições de exposição: sob condições padrão de laboratório, armazenamento em um forno, exposição em um dispositivo fluorescente de raios ultravioletas e condensação.

5.8 Tipos de selantes

Os selantes são agrupados segundo o composto químico principal que lhe serve de base, sendo os comumente encontrados no mercado à base de acrílico, poliuretano, ou silicone, cujas principais características serão discutidas na sequência e estão sintetizadas na Tabela 5.3.

5.8.1 Selantes acrílicos

São produtos à base de resinas acrílicas que podem ser dispersas em solventes ou em água (AFNOR, 2002). Curam por processo de evaporação do solvente ou da água (secagem) e têm um comportamento que varia de plástico a elastoplástico. Segundo Woolman e Hutchinson (1994), os selantes à base de água apresentam característi-

4 Citados na nota de rodapé anterior.

cas de adesão inferiores aos selantes à base de solvente.

Woolman e Hutchinson (1994) advertem que os selantes à base de água somente podem ser aplicados em fachadas se for assegurada sua cura antes da ocorrência de chuva.

Segundo Panek e Cook (1991), a capacidade de movimentação dos selantes acrílicos é limitada porque eles endurecem com o tempo, como resultado da evaporação do solvente. A sua dureza pode chegar a 35 Shore A e é atingida na cura final, que acontece entre 1 e 2 anos.

Em virtude desse precoce endurecimento dos selantes acrílicos, que resulta na redução de suas propriedades de movimentação, aqueles autores advertem que devem ser especificados apenas dentro dos limites de $\pm 7,5\%$ a $\pm 12,5\%$, mesmo que a especificação do produto cubra movimentos de até $\pm 25\%$.

Segundo Woolman e Hutchinson (1994), a sua vida útil quando estão sujeitos a movimentos cíclicos frequentes é muito reduzida. Afirmam, ainda, que a causa mais comum de falhas em selantes acrílicos são as deformações plásticas que se devem aos movimentos excessivos ou por falha de adesão em substratos friáveis.

Possivelmente, pela sua baixa capacidade de movimentação e suscetibilidade às condições ambientes, o selante de base acrílica não tenha sido recomendado por Beltrame e Loh (2009) como adequado para aplicação em fachada de edifícios.

5.8.2 Selantes de poliuretano

São produtos que contêm de 35% a 45% de polímeros e 30% de filler (PANNEK e COOK, 1991). São selantes elásticos que se, monocomponentes, curam quando em contato com a umidade atmosférica e, se multicomponentes, sua cura ocorre por reação química interna (AFNOR, 2002).

Segundo Panek e Cook (1991), alterações na dureza ao longo do tempo ou por ação do calor podem indicar falhas na formulação. Esses autores afirmam que os selantes de adequada qualidade manterão essa propriedade física ao longo do tempo, uma vez que a dureza do selante está relacionada às suas propriedades de acomodação dos movimentos.

Além disso, os autores afirmam que os selantes de poliuretano adequadamente formulados têm excelente resistência ao UV e ao ozônio e não vão fissurar depois de um longo tempo de exposição à luz solar. Apesar disso, os poliuretanos coloridos podem se descolorir com o tempo, devendo essa propriedade ser avaliada por meio de ensaio, caso a manutenção da cor seja um requisito do projeto.

5.8.3 Silicones

Segundo o DTU 44.1 (AFNOR, 2002), os silicones são utilizados na maior parte das juntas de construção. São geralmente selantes elásticos que curam quando em contato com a umidade atmosférica e distinguem-se uns dos outros pelo seu sistema químico de cura, podendo ser acética ou neutra. Ambos curam em

contato com a umidade do ar. Os silicones de cura acética liberam ácido acético durante seu processo de cura, enquanto os de cura neutra não liberam subprodutos ácidos ou corrosivos.

Os silicones de cura acética tendem a atrair sujeira por eletricidade eletrostática; assim, quando aplicados em superfícies como revestimentos cerâmicos de fachadas, podem acarretar o aparecimento de manchas escuras, o que limita sua utilização. Os silicones de cura neutra são os mais recomendados para esse tipo de substrato (FERME e OLIVEIRA, 2003; BELTRAME e LOH, 2009).

Segundo Woolman e Hutchinson (1994), os silicones têm a taxa de endurecimento muito lenta; portanto, raramente o endurecimento seja um fator que possa causar falha nas juntas. Esse tipo de selante tem uma vida útil prevista, segundo os autores, de 20 a 30 anos.

Segundo Ferme e Oliveira (2003), os silicones podem ser de alto módulo (mais utilizados em colagens estruturais) ou de baixo módulo. Ambos são produtos de alto desempenho e com excelente resistência ao intemperismo e ao envelhecimento, o que os tornam produtos de longa expectativa de vida útil. Podem ser disponibilizados com dureza Shore A que varia de 25 a 50 e com capacidade de movimentação de $\pm 25\%$ até $\pm 100\%$, -50% , como indica a Tabela 5.3.

5.8.4 Silicones híbridos

Os selantes híbridos são aqueles que combinam as melhores proprieda-

des de diferentes polímeros. Os silicones com poliuretano, por exemplo, são silicones híbridos e, segundo Ferme e Oliveira (2003), são considerados como inseridos no grupo mais moderno de selantes, podendo ser aplicados em substratos úmidos; além disso, para a maioria dos substratos, não necessita da aplicação de *primers* (somente requeridos para superfícies extremamente porosas). Possuem elevada resistência às intempéries e aos raios ultravioleta.

5.8.5 Considerações finais

Cada tipo de selante tem suas vantagens e desvantagens e, como regra geral, os selantes de poliuretano e de silicone são os mais recomendados para revestimentos cerâmicos de fachadas, sobretudo por serem mais resistentes ao intemperismo e apresentarem melhor capacidade de deformação que os selantes acrílicos.

Outro tipo de selante, também citado nas normas de execução de revestimentos cerâmicos de fachadas – BS 5385: part2 (BSI, 2006) e AS 3958.2 (AS, 1992) –, são os à base de polissulfetos. Contudo, esses selantes são mais utilizados na fixação de vidros, não sendo utilizados no mercado brasileiro em revestimentos cerâmicos de fachadas. Por isso, esse tipo de selante não será abordado neste trabalho.

A Tabela 5.3 sumariza as características, vantagens e desvantagens dos selantes anteriormente abordados.

TABELA 5.3 Principais tipos de selantes empregados em juntas de fachada e suas características.

Tipo de selante	Comportamento	Fator de acomodação	Dureza	Tempo de cura após aplicado	Manutenção da aparência	Expectativa de vida	Vantagens	Desvantagens
Acrílico (base de água ou base de solvente)	Plasto-elástico/ Plástico	5% a 12,5%	25 a 30	3 a 14 dias (cura por secagem)	Média	10 a 20 anos	Excelente resistência aos raios ultravioletas. Elevada aderência sem necessidade de <i>primer</i> . Aceitam pintura sobre a superfície curada. Baixo custo. Facilidade de acabamento e limpeza. Permitem aplicação em presença de umidade (algumas formulações).	Podem apresentar retração. Quando solúveis em água, não oferecem resistência à inversão. Recuperação elástica lenta.
Poliuretano (monocomponente)	Elástico	25% a 35%	15 a 40	3 a 14 dias (taxa de cura depende da temperatura e umidade relativa)	Boa	20 anos	Apresentam ótima elasticidade e memória de retorno, excelente resistência ao intemperismo, elevada expectativa de vida útil. Não apresentam retração. Ótima aderência em diversos substratos (na maioria das vezes sem a necessidade de <i>primer</i>).	Não recebem pintura.
Poliuretano (multicomponente)	Elástico	25% a 35%	15 a 40	Rápida	Boa	20 anos	Geralmente possuem maior disponibilidade de cores.	Exigem equipamentos mecânicos para mistura e limpeza rigorosa de aplicação.
Silicone	Elástico Altomódulo Baixomódulo	25% 50% a 100%	20 a 30 10 a 20	1 a 14 dias (cura depende da umidade relativa do ar)	Excelente	25 anos	Excelente resistência ao intemperismo e ao envelhecimento, tornando-os produtos de longa expectativa de vida útil. Possuem excelente alongamento e memória de retorno, excelente aderência, fácil aplicação e ampla disponibilidade de cores.	Os silicones tendem a atrair sujeira, não pela consistência "grudenta" antes da polimerização, mas sim por eletricidade elástica. Isso muitas vezes limita a sua utilização em fachadas de coloração clara.

Fonte: LEDBETTER, HURLER; SHEEHAN (1998).



Desempenho de Juntas Seladas

6.1. Requisitos de desempenho das juntas seladas

Como são parte do subsistema de revestimentos cerâmicos de fachadas, as juntas seladas devem satisfazer aos requisitos de desempenho relacionados à durabilidade, dissipação de tensões, estanqueidade e estética, enfocados na sequência.

6.1.1. Durabilidade

Um dos principais desafios na produção de uma junta selada é torná-la durável, ou seja, fazer que tenha capacidade contínua de acomodar os movimentos impostos pela estrutura e pelas condições ambientais às camadas de revestimentos e que se mantenha íntegra, não apresentando problemas que comprometam o desempenho do revestimento ao longo de sua vida útil.

A durabilidade da junta selada está relacionada a fatores de degradação e envelhecimento do material selante que, segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009), de modo geral, ocorrem principalmente pela fotodegradação causada pelos raios ultravioleta e ciclos de aquecimento e resfriamento em conjunto com a ação da água.

Além disso, a durabilidade da junta relaciona-se também aos cuidados no projeto e na sua execução. A inadequada execução das juntas de movimentação seladas é apontada por autores como Woolman e Hutchinson (1994) e Gorman e colaboradores. (2001) como uma das principais causas de falhas. Assim, para que se alcance a vida útil desejada das juntas preenchidas por sistema selante, é importante aliar, sobretudo, à adequada especificação do selante e aos demais constituintes da junta uma criteriosa aplicação dos materiais.

Segundo Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998) uma junta selada, quando bem especificada e executada, tem uma expectativa de vida útil limitada a, possivelmente, 20 anos. Esses mesmos autores afirmam que o período de vida útil pode ser previamente estimado através de ensaios de envelhecimento acelerado a serem realizados com os materiais e componentes específicos que se pretende utilizar.

No Brasil, não se tem estabelecida a vida útil de juntas seladas. A norma de desempenho ABNT, NBR 15575-1¹ (2008), recentemente editada e focada em edifícios de até cinco pavimentos, estabelece a vida útil dos revestimentos aderidos em fachadas de edifícios como de pelo menos 20 anos para edifícios com padrão mínimo de desempenho e de 30 anos para os de padrão superior. No entanto, não faz referência à vida

útil dos elementos da fachada. Por outro lado, nessa mesma parte da norma, há a indicação de que o prazo de garantia do selante é de um ano com relação à aderência. Além disso, recomenda que a estanqueidade da fachada deva ser garantida por um período mínimo de três anos. Não há referência sobre exigência de resselamento em função da vida útil esperada para a fachada, e essa atividade é de fundamental importância para o adequado desempenho da junta ao longo da vida útil do edifício.

Diante dessas recomendações, pode-se afirmar que, no atual estágio de desenvolvimento tecnológico brasileiro, a norma vigente pouco auxilia nas especificações de desempenho das juntas seladas, devendo essa função ser exercida pelo projetista, que deverá considerar as exigências previstas para o empreendimento.

6.1.2. Acomodação de movimentos

A junta deve ser prevista para acomodar os possíveis movimentos reversíveis e irreversíveis que possam vir a ocorrer nos painéis de revestimento. E, para cumprir essa função, é necessário que seja adequadamente projetada, o que implica dimensionamento e posicionamento apropriados; além de ter também especificação do selante correto para suportar as agressões ambientais

¹ O conteúdo da NBR15575 (ABNT, 2008) refere-se a sistemas que compõem edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado.

e os movimentos previstos. O dimensionamento incorreto ou a especificação do selante inadequada aos movimentos a que as juntas estarão sujeitas pode contribuir para sua ruptura precoce, que pode acontecer sob a forma de perda de adesão ao substrato ou ruptura coesiva do selante (ASTM C1193, 2009), como poderá ser visto no subitem.

Os selantes podem ter maior ou menor capacidade de acomodação de movimentos em função de suas características específicas, como o fator de acomodação, recuperação elástica, módulo de elasticidade e dureza Shore, conforme foi abordado no capítulo anterior.

As juntas de movimentação têm também a função de compensar variações dimensionais inevitáveis de placas cerâmicas, esquadrias e variações dimensionais no conjunto dos elementos na construção. Entretanto, especificamente quanto às tolerâncias dos elementos da construção, infelizmente, no Brasil ainda não foram estabelecidas referências. Esse quadro é diferente em outros países, podendo-se exemplificar com as normas britânicas que permitem desvios construtivos ao nível de planicidade, prumo e alinhamento dos elementos construtivos, da ordem de 2 mm por pavimento, no caso de paredes planas e janelas (LEDBETTER, HURLEY e SHEEHAN, 1998).

6.1.3. Estanqueidade

Como uma das funções da junta é acomodar os movimentos, sua especificação objetiva também impedir a

formação de fissuras ou qualquer abertura no revestimento que possibilite a penetração de água pela vedação, contribuindo com o cumprimento do requisito de desempenho das fachadas relativo à estanqueidade da água (OLIVEIRA e MOREIRA, 2005).

Além de impedir fissuras no painel de revestimento, a própria junta constitui um ponto frágil em relação à estanqueidade, como anteriormente comentado. Assim, as juntas seladas devem promover uma barreira contra a infiltração de água e de ar pela vedação. Entretanto, o sistema de selamento somente cumprirá essa exigência se não se deteriorar ao longo do tempo, isso é, se não sofrer falhas, seja por deterioração dos materiais de que é constituído, como falha coesiva, seja por perda de adesão do selante.

6.1.4. Estética

As juntas em fachada são elementos frequentemente muito visíveis; portanto, é importante que, além dos requisitos de desempenho técnicos, os fatores estéticos sejam apropriadamente considerados quando se faz a especificação de uma junta e, posteriormente, quando essa é executada.

Existe a tendência de fazer as juntas de movimentação bem estreitas e de aumentar os espaços entre elas, a fim de reduzir seu impacto visual na arquitetura do edifício. Essa tendência pode conflitar com sua função de acomodar os movimentos e de resistir às tensões que provocam.

Há também o apelo do mercado e dos próprios projetistas à indústria de selantes para que suas cores sejam muito próximas das cores das placas cerâmicas; entretanto, como bem afirmam Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998), essas tentativas são raramente bem-sucedidas, pois a cor inicial do selante é perdida ao longo do tempo, seja pelo acúmulo de sujeira, que ocorre de maneira diferenciada entre o selante e as placas cerâmicas, seja pelos efeitos do intemperismo que também variarão para cada um.

Observa-se, portanto, que, para satisfazer a esses requisitos de desempenho, não cabe simplesmente preencher as aberturas das juntas. Os materiais e componentes de sua constituição precisam ser capazes de cumprir as exigências de acomodação de movimentos, estanqueidade, durabilidade, além da estética. Todos os requisitos devem ser compatíveis às exigências de vida útil especificadas em projeto.

Diante dessas exigências, busca-se registrar como as juntas devem ser constituídas e, na sequência, as características que os materiais e componentes devem apresentar.

6.2. Defeitos em juntas seladas

A utilização de juntas de movimentação seladas tem sido polêmica por causa da ocorrência de manifestações patológicas relacionadas a elas, em revestimentos cerâmicos em fachadas relativamente novas. Quando não adequadamente projetadas ou executadas, as juntas de

movimentação podem desencadear um conjunto de manifestações patológicas, que comprometem estética e funcionalmente o revestimento e oneram os custos de manutenção da edificação.

As falhas mais comuns nas juntas seladas são, segundo Chew (1999): perda de adesão; falha na coesão; escorrimento; dobramento e intrusão; deformação excessiva; ataque químico; desgaste precoce e desagregação.

Essas podem ocorrer por fatores, como:

- Deficiências de projeto e de especificação das juntas.
- Escolha incorreta do selante.
- Aplicação sobre substrato contaminado ou com umidade.
- Não observância da temperatura adequada e recomendada para aplicação.
- Defeitos na preparação da superfície ou na aplicação do selante.
- Falta de utilização de *primer*, em aplicações especiais.
- Falhas nos materiais selantes.
- Ocorrência de movimentações não previstas.

Focalizando os revestimentos cerâmicos de fachadas, as principais falhas observadas são as descritas nos itens que seguem.

6.2.1. Perda de adesão do selante

A perda de adesão é o tipo mais comum de falha do selante. É a perda

da ligação entre o material selante e o substrato (Figura 4.7) e pode representar um grave problema em juntas de fachadas, pois implica a perda de função do selante, o que resulta em problemas de estanqueidade no sistema de revestimento.

Segundo Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998), a falha na adesão pode se originar, com muita facilidade, durante a aplicação do selante. Alguns fatores críticos a serem observados para evitar que ocorra a falha na adesão são relacionados a seguir.

- **Condições de superfície:** qualquer tipo de contaminação ou de partículas soltas deve ser removido da superfície em cujo selante será aplicado. A superfície também deve estar seca.
- **Primer:** o uso de *primer* é recomendado pelos fabricantes em alguns casos. Nesses casos, deve ser aplicado o produto para o tipo de selante utilizado, observando o tempo de secagem recomendado.



FIGURA 6.1 Ruptura adesiva: perda de adesão do selante.

Fonte: CHEW (1999).

- **Preenchimento da junta:** deve ser observada a colocação correta do limitador de profundidade ou da fita isoladora para fornecer a área de adesão adequada e evitar o terceiro ponto de adesão.
- **Temperatura inicial da junta:** a temperatura a que a junta está sujeita no momento de aplicação do selante influencia no modo em que ela vai trabalhar. Recomenda-se que a instalação do selante seja realizada em temperaturas medianas, para que ela não trabalhe sob tração ou compressão extremas.
- **Acabamento final eficaz:** o acabamento final bem realizado é fundamental para remover as bolhas de ar, para assegurar o perfeito contato com o substrato e obter o perfil correto do selante.

Além desses fatores, a perda de adesão também pode ocorrer por falhas na especificação ou por deficiência do material selante, sendo alguns aspectos relevantes destacados na sequência.

- O selante é inadequado para o substrato e não adere nele.
- Envelhecimento precoce do selante: o selante torna-se resistente e mais limitado em sua potencialidade do movimento, acarretando falha, pois não pode mais absorver o movimento exigido.
- A junta tem largura insuficiente, de modo que o selante não tem outra possibilidade a não ser romper em sua adesão com o substrato. Deve-se assegurar na fase de projeto que a adesão selante-substrato não per-

maneira tensionada excessivamente por causa do dimensionamento inadequado da largura e profundidade do selante.

Além de todos os cuidados a serem tomados, para cada aplicação específica, a adesão do selante ao substrato deve ser testada em laboratório, o que pode ser feito pelo método de ensaio da ASTM C719-93 (ASTM, 2005), conforme referenciado anteriormente.

6.2.2. Falha coesiva do selante

A falha coesiva acontece dentro do corpo do material do selante (Figura 4.8). Essa falha começa frequentemente com um pequeno entalhe no material. Segundo o ACI 224 (ACI, 1995), a causa mais provável de uma falha coesiva é a ocorrência de um movimento da junta maior do que a capacidade do selante de suportá-lo. De maneira análoga, a falha coesiva poderá ocorrer caso um selante tenha capacidade de movimen-



FIGURA 6.2 Vista frontal de uma junta que apresenta ruptura coesiva.

tação menor do que a especificada pelo fabricante e especificada para a junta. Assim, torna-se clara, mais uma vez, a importância do controle de qualidade do material selante.

Segundo Klosowski (1989), na recuperação de juntas com ruptura coesiva, as opções são:

- Ampliar a junta de modo que possa ser utilizado um novo selamento empregando-se selante com a mesma capacidade de movimento que o original.
- Deixar a junta do mesmo tamanho e substituir por um selante com capacidade de movimento maior que o rompido.

6.2.3. Enrijecimento e craquelamento do selante

O calor, a chuva e a luz solar podem degradar o selante levando à oxidação, exsudação dos seus constituintes e à perda dos aditivos que o constituem, tais como plastificantes etc. Nesses casos, o selante está sujeito ao endurecimento, à degradação e eventual fissuração (Cognard, 2004) (Figura 4.9), os



FIGURA 6.3 Enrijecimento do selante, com fissuração e perda da adesão. Fonte: CHEW (1999).

quais pode ser indício da degradação do polímero e da falta de resistência do material à ação dos raios ultravioleta.

6.2.4. Manchamento do selante

O manchamento é um efeito visual esteticamente inaceitável, causado pelos materiais selantes sobre as superfícies circundantes às quais os selantes estão aderidos (Dow Corning, 2005), como ilustra a Figura 4.10.

Um selante, dependendo de sua formulação e da qualidade de seus componentes, pode causar manchamento em substratos porosos ou não-porosos por causa da migração do fluido para dentro dos poros do substrato, o que mancha a superfície exposta adjacente ao selante. Dessa forma, o fluido pode descolorir a superfície do substrato ou atrair poluição ou partículas do ambiente.

Segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009), a remoção do manchamento provoca-

do pelo selante, tanto em superfícies porosas quanto em não-porosas é difícil, mas não impossível. A remoção pode ser obtida utilizando-se um material apropriado ao tipo de fluido, ao tipo de poluição ambiental ou partículas de sujeira.

Resumindo o que foi anteriormente apresentado, têm-se que as falhas em juntas de movimentação seladas estão relacionadas às deficiências de projeto, execução e procedimentos de manutenção, notadamente:

- Ausência de dimensionamento da abertura.
- Posicionamento inadequado da junta.
- Escolha de materiais inadequados às condições de utilização.
- Deficiência nas características dos materiais de preenchimento.
- Deficiências na produção das juntas.
- Ausência de manutenção ao longo da vida útil da edificação.

Portanto, o tipo de falha que pode ocorrer em uma junta depende de inúmeros fatores, assim como do tipo de selante utilizado. A Tabela 6.1 correlaciona as falhas e as suas possíveis causas.

Além dessas deficiências, percebe-se que a realidade nacional é agravada por ser o selante um dos materiais com os quais a própria engenharia, os mestres e os operários não estão familiarizados, o que possibilita um tratamento inadequado em seu uso, resultando em uma deficiente utilização, como afirma CHAVES (1998).



FIGURA 6.4 Manchamento do selante e do revestimento.

TABELA 6.1 Possíveis causas de falhas em juntas seladas

Tipo de falha e causas	Manchamento	Perda de adesão	Falha coesiva	Destacamento de revestimento cerâmico
Erro de dimensionamento		X	X	X
Especificação inadequada do selante	X	X	X	X
Excesso de movimentação		X	X	X
Profundidade excessiva		X	X	
Profundidade insuficiente (selamento muito superficial)		X	X	X
Falha no preparo de superfície		X		
Falhas na aplicação		X	X	

Adaptada de FERME; OLIVEIRA (2003)



Projeto de Juntas em Revestimentos

O conhecimento existente sobre tecnologia de produção de juntas de movimentação seladas em outros países destaca a importância da realização de um criterioso projeto. Comitês técnicos internacionais de normalização e pesquisa vêm empreendendo estudos há muito tempo e destacam em seus documentos definições, parâmetros e critérios de projeto de juntas seladas, como é o caso do *ASTM Committee C24¹ – Building Seals and Sealants*, fundado nos Estados Unidos em 1959; do *Joining Technology Research Centre*, há mais de 25 anos na Universidade de Oxford²; além dos grupos de estudo do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)* e do *RILEM Technical Committee TC139-DBS – Technical Committee of Durability on Building Sealants*.

Trazendo a experiência do Reino Unido, destaca-se o trabalho de Woolman e Hutchinson (1994), em que afirmam que nos muitos anos em que as juntas dos edifícios foram sendo seladas, diversos edifícios precisaram ter suas juntas reseladas por causa da

1 Fonte <http://www.astm.org/COMMIT/COMMITTEE/C24.htm>.

2 Fonte http://www.brookes.ac.uk/other/jtrc/welcome_to_jtrc.htm.

ocorrência de patologias. Com isso, foi possível identificar os principais motivos para essas patologias acontecerem, os quais estão relacionados principalmente à especificação incorreta do selante, aplicação deficiente e até mesmo a sérias falhas de projeto, como o incorreto posicionamento da junta.

A especificação de juntas de movimentação é uma importante etapa do processo de produção de revestimentos, a ponto de, na literatura internacional consultada, ser tratada como uma atividade que merece um projeto específico, usualmente denominado “Joint Design”, ou seja, “Projeto de Junta”.

A leitura dos capítulos anteriores leva ao entendimento de que, para a especificação de juntas seladas, estão envolvidos, entre outros fatores, o entendimento dos movimentos do edifício e das características das camadas de revestimentos, além das condições de meio ambiente em que a edificação está inserida e da tecnologia de selantes. É necessário, portanto, que esse conjunto de informações seja analisado dentro de uma visão sistêmica do edifício, em que sejam considerados os principais aspectos destacados na sequência, os quais foram reunidos a partir das propostas de Ledbetter, Hurley e Sheenan (1998) e da experiência das autoras:

- entender a função que a junta deverá cumprir na situação específica para a qual se pretende especificá-la.
- selecionar os locais mais apropriados para o posicionamento das juntas, visando não apenas ao seu

aspecto funcional, mas também à facilidade de sua execução que, certamente, vai influenciar em suas características finais.

- selecionar um sistema de selante, a partir de suas especificações e das exigências de durabilidade que se deva ter para a junta, antes da necessidade de um reselamento.
- avaliar o selante escolhido nas condições específicas de utilização.
- detalhar completamente as aberturas e os materiais que vão fazer o seu selamento.

Woolman; Hutchinson (1994) e Hutchinson e colaboradores (1995) propuseram “percursos” para a realização do projeto de juntas de fachadas que contemplam as atividades anteriormente destacadas. Suas proposições foram adaptadas pelas autoras em uma proposta de “processo de projeto de juntas de movimentação para revestimentos cerâmicos de fachadas”, a qual é apresentada na Figura 7.1. As etapas desse processo serão comentadas nos itens que seguem.

7.1 Avaliação da edificação e das condições de exposição

As atividades para especificação de juntas devem ser iniciadas pela avaliação da edificação, a partir da análise de projetos, para se diagnosticar e caracterizar o comportamento dos substratos. Entretanto, uma premissa para o projeto de revestimento é evitar o uso desnecessário

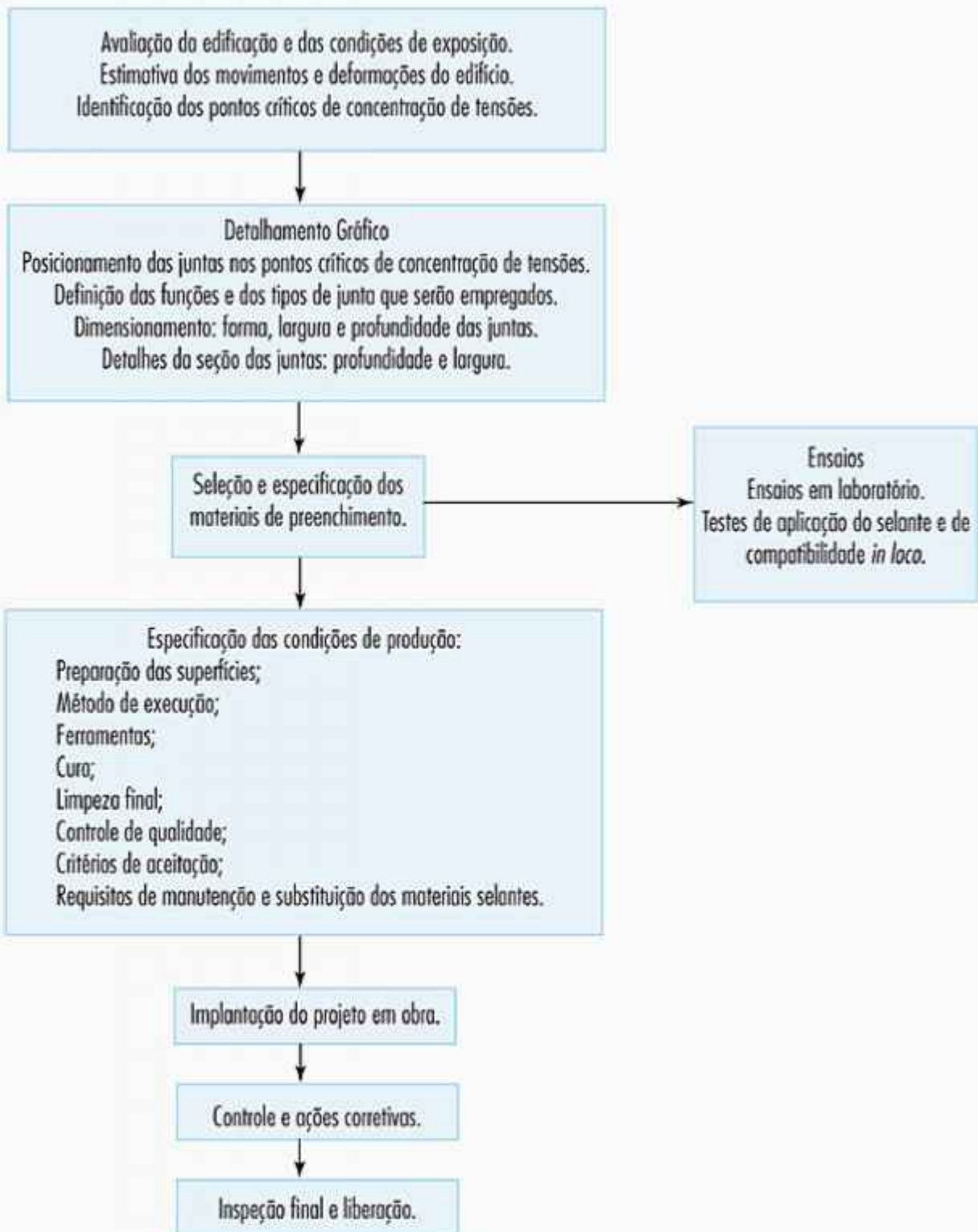


FIGURA 7.1 Proposta de fluxo de atividades para desenvolvimento do Projeto de Juntas Seladas.

de juntas. Elas somente devem ser previstas após cuidadosa avaliação sobre a sua real necessidade e o estabelecimento dos requisitos de desempenho (BS 6093, BSI, 2006) .

Para tanto, nesta fase, o projetista de revestimentos deve reunir informações que possibilitem o seu entendimento acerca dos fatores que originam movimentos na

fachada do edifício e que lhe permita fazer a previsão do comportamento potencial das camadas de revestimento em razão daqueles fatores e, por consequência, o comportamento da própria junta.

Nos documentos consultados, não foram encontrados critérios ou diretrizes específicas que direcionem a realização dessa avaliação da edificação, com o objetivo de dimensionamento de juntas. Algumas normas definem parâmetros, não muito detalhados, a serem considerados na etapa do projeto. A norma inglesa BS 5385: part2 (BSI, 2006), por exemplo, afirma que se devem considerar as características dos materiais das camadas do revestimento, as áreas revestidas e as condições de temperatura e umidade previstas; no entanto, não fornece parâmetros específicos para essa análise.

A norma australiana AS 3958.2 (1992), por sua vez, explica que a especificação das juntas de movimentação é influenciada pelo tipo de estrutura, sua idade, dimensões do edifício, geometria da superfície a ser revestida, dimensões e potencial de expansão por umidade das placas cerâmicas, dimensões das juntas de assentamento e localização de juntas construtivas. Mais uma vez, porém, não são apresentados os parâmetros que permitam definir se a fachada analisada possui maior ou menor potencial de movimentação.

As referências consultadas atribuem a responsabilidade pela definição das características das juntas ao projeto e, por consequência, ao projetista; portanto, os conhecimentos e experiência

deste serão fundamentais para a correta especificação das juntas.

As informações necessárias para a especificação de juntas devem ser coletadas durante a fase inicial do projeto de revestimentos. Medeiros (1999), com base em Asimow (1968), propôs que o processo de projeto de produção de revestimentos cerâmicos de fachadas ocorra em várias etapas. Segundo esse autor, é na fase inicial de análise e definição do projeto de revestimento que as informações necessárias para avaliação da edificação devem ser levantadas. Essas informações são sintetizadas na Tabela 7.1.

A fase inicial do projeto de revestimentos é constituída por uma coleta de informações sobre a obra objeto do projeto de revestimento. Para tanto, é necessário que o projeto arquitetônico seja analisado, incluindo o projeto das fachadas e também o estrutural e o de alvenaria (quando existente), além de informações gerais a respeito do produto edifício. Caso a obra esteja em andamento, deverá fazer parte da avaliação uma visita criteriosa com registro fotográfico e das condições de produção da obra.

A avaliação da edificação consiste, sobretudo, na análise do projeto de estruturas do edifício, na qual se buscam informações acerca da rigidez dos elementos estruturais que apoiam as alvenarias de fachada: características de lajes e vigas de borda, ou em balanço, flechas previstas, tudo isso para serem localizados os pontos críticos de concentração de tensões nos quais, possivelmente, devem ser posicionadas as juntas. Por

TABELA 7.1 Análise e definições iniciais do Projeto de Revestimentos

Etapas	Descrição das atividades
Avaliação das condições de exposição da fachada	Estudo detalhado de cada uma das fachadas do edifício, suas condições de exposição, possibilidades de ocorrência de choques térmicos, incidência de chuvas, ventos, poluição atmosférica e outras condições relativas ao meio ambiente no qual a construção se insere.
Análise da arquitetura da fachada	Estudo das características arquitetônicas que possam interferir no desempenho do revestimento cerâmico da fachada. Considera-se, nesta etapa, a avaliação da geometria, formas, tipo de empreendimento, local da construção e características do entorno da obra.
Avaliação da deformabilidade da estrutura	Análise técnica da deformabilidade potencial da estrutura, ao longo do tempo, considerando-se elementos críticos indutores de tensões prejudiciais ao substrato e às outras camadas dos revestimentos cerâmicos de fachada. Devem ser considerados parâmetros como: módulo de deformação do concreto, rigidez dos elementos e rigidez global da estrutura, fluência, sequência e métodos construtivos empregados na sua produção.
Avaliação das características das paredes externas	Avaliação das condições das superfícies das paredes, necessidade de preparação da base e aplicação de camada de regularização. Avaliação das potenciais movimentações intrínsecas das paredes de vedação, sua resistência mecânica, principalmente da superfície, capacidade de absorção de deformações e regiões que podem provocar o surgimento de tensões.

Fonte: MEDEIROS (1999).

vezes, as informações não constam do projeto estrutural, tal como o diagrama de isodeformações, mas devem ser solicitadas ao projetista da estrutura.

Complementarmente a essa análise, no projeto de arquitetura, as informações específicas, como características dos materiais de acabamento especificados, a geometria da edificação – altura do edifício, existência de varandas e platibandas, trechos em curvas, as dimensões das aberturas – e o encontro de diferentes

tipos de revestimentos constituem informações importantes a serem utilizadas para o posicionamento das juntas.

Assim, recomenda-se que, para diagnosticar e caracterizar o comportamento dos substratos, se busque conhecer o melhor possível as características do edifício e do ambiente para se identificar os movimentos da estrutura, os movimentos de origem térmica e os ocasionados pela umidade, conforme foi discutido no capítulo 3 deste livro.

7.2 Dimensionamento de juntas

O dimensionamento de juntas consiste na definição do posicionamento e das dimensões da abertura da junta (largura e profundidade).

Uma vez que a necessidade das juntas de movimentação foi estabelecida na etapa de avaliação, quanto mais cedo for definido seu posicionamento na fachada, durante o processo de projeto do edifício, mais adequado poderá ser seu dimensionamento, pois maiores serão as chances de se obter a colaboração dos demais projetistas. Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998) lembram isso quando afirmam que, na maioria dos casos, o projeto de juntas é iniciado em um estágio tardio, em que o projetista tem pouco controle sobre o seu posicionamento, sobretudo, porque se consideram principalmente questões estéticas e o tamanho dos painéis e de seus componentes, os quais já foram previamente definidos.

7.2.1 Posicionamento

As normas de projeto e execução de revestimentos cerâmicos de fachadas apresentam regras genéricas para o posicionamento das juntas de movimentação. A primeira versão da norma inglesa de revestimento cerâmico de fachada, o CP 212: part 2 (BSI, 1966), trazia a recomendação de que as juntas fossem posicionadas horizontalmente, a cada pavimento e, verticalmente, separadas por uma

distância aproximada de 3 metros, coincidindo, de preferência, com a transição entre materiais na base.

Essa primeira versão da norma foi substituída em 1978 pela BS 5385: part 2 (BSI, 1978), a qual apresentou novas recomendações quanto ao posicionamento das juntas, trazendo regras genéricas a serem consideradas pelo projetista, as quais são aqui sintetizadas:

- Juntas estruturais pre-existent: as juntas de movimentação previstas para a estrutura, o emboço e a alvenaria devem ser prolongadas e suas dimensões mantidas até a camada de revestimento cerâmico. Os materiais de preenchimento devem também atender aos requisitos de desempenho para as movimentações previstas.
- Em locais em que haja o encontro de revestimentos produzidos com materiais distintos.
- Nos ângulos verticais externos, podendo ser posicionadas a uma distância entre 25 e 100 cm, a partir da mudança de plano do revestimento.
- Nas junções entre diferentes tipos de materiais na base, quando o revestimento cerâmico for contínuo sobre ela.
- Juntas horizontais a cada pavimento, coincidindo com o fundo da laje ou da viga, na região da fixação da alvenaria à estrutura.
- Juntas verticais entre 3 a 4,5 m, em quinas internas ou nas junções da entre alvenarias e pilares.

A norma inglesa, BS 5385: part2 (BSI, 1991), manteve as recomendações para o posicionamento das juntas da norma de 1978 e acrescenta:

- As juntas horizontais devem ser preferencialmente locadas no topo e no fundo da laje ou viga de borda.
- As juntas verticais devem ser locadas nos cantos internos e em todas as junções da alvenaria com a estrutura de concreto.

A norma inglesa foi recentemente revisada, estando em vigência a BS 5385: part2 (BSI, 2006). Entretanto, na nova versão da norma, nada foi alterado em relação às recomendações anteriores.

Regras semelhantes às da norma inglesa para o posicionamento das juntas em revestimentos cerâmicos de fachadas estão incorporadas em diversas normas e documentos encontrados na literatura. A maior parte dos documentos a que as autoras tiveram acesso recomenda juntas horizontais em cada pavimento, na região do encontro da alvenaria com a estrutura e juntas verticais espaçadas a distâncias que variam de 3 a 6 metros. As principais recomendações encontradas estão sintetizadas na Tabela 7.2.

A partir dessas diferentes especificações, na sequência, são propostas algumas diretrizes que poderão ser utilizadas como referência ao se desenvolver um projeto de junta, lembrando-se sempre que as condições específicas de cada caso deverão ser consideradas pelo projetista e que a especificação da junta é de sua inteira responsabilidade.

a) Juntas horizontais

Em geral, as juntas de movimentação horizontais devem ser posicionadas em todos os pavimentos, na região do encontro da alvenaria com a estrutura, local em que há um grande potencial de deformações diferenciais devido à junção de materiais com comportamento distinto, o que pode comprometer o revestimento.

Essas juntas de movimentação horizontais a cada pavimento podem ser tanto juntas de trabalho (com o seccionamento da camada de emboço), quanto juntas de dessolidarização (apenas na camada do revestimento cerâmico). A escolha por um ou outro tipo deverá ser feita a partir da análise do projetista em relação ao comportamento do edifício (Figura 7.2).

Nos casos em que se considera que a intensidade de movimentação da estrutura não trará danos ao revestimento, podem ser empregadas juntas de dessolidarização, as quais atuam somente para o alívio das tensões ocasionadas pela movimentação intrínseca da camada de acabamento. Por outro lado, considerando-se a possibilidade de deformações na ligação estrutura-vedação e, por consequência, a deformação da camada de revestimento, deverá ser prevista a junta de trabalho, com as características anteriormente apresentadas.

Há também a possibilidade de se empregar juntas de dessolidarização e de trabalho alternadamente, objetivando reduzir as seções no emboço que

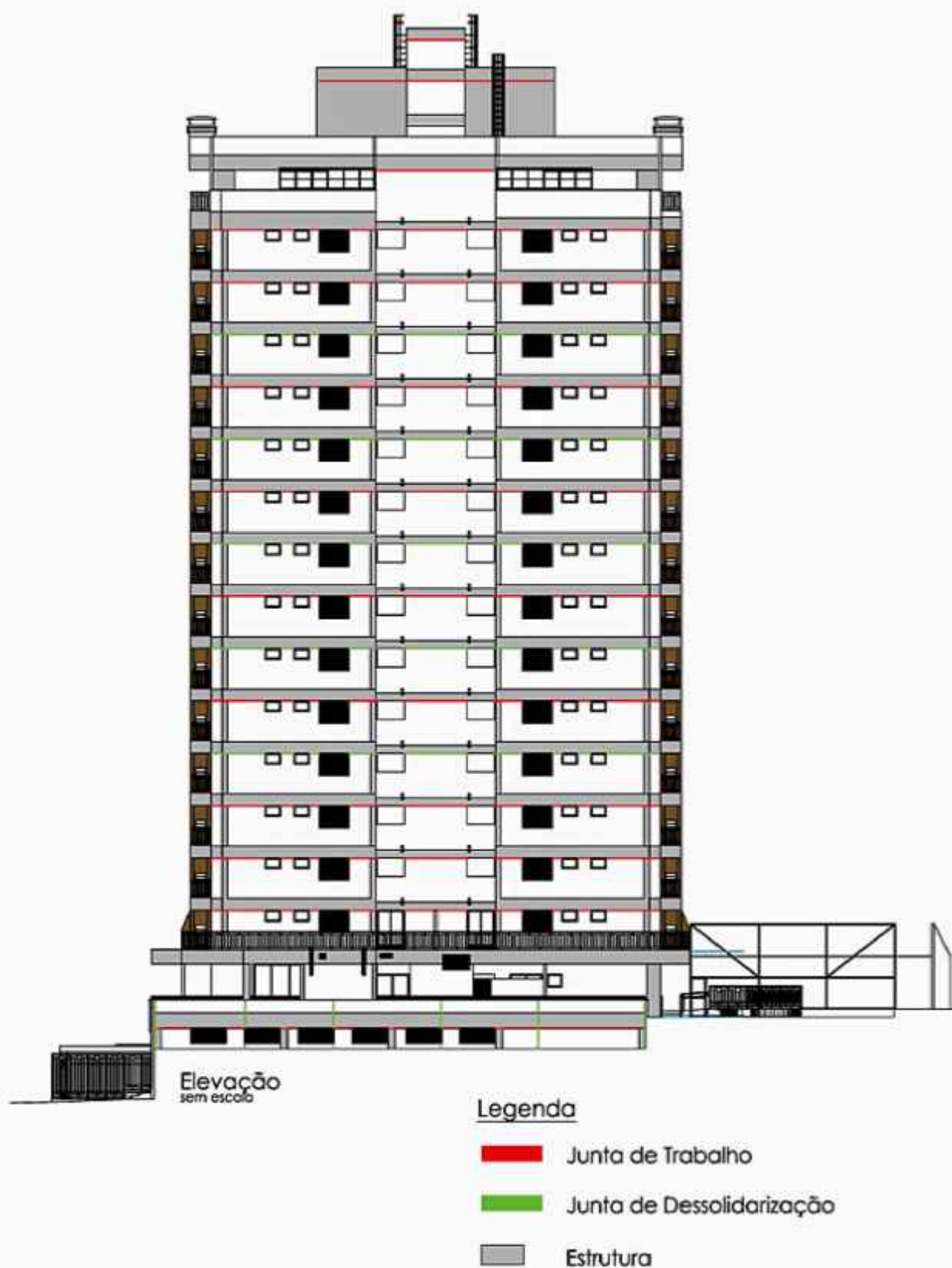


FIGURA 7.2 Exemplo de posicionamento de juntas de movimentação em projeto – elevação.

TABELA 7.2 Recomendações para posicionamento de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas.

Referência	Posicionamento
Norma Brasileira NBR 13755 (ABNT, 1996)	Juntas horizontais: em cada pavimento, na região do encunhamento da alvenaria, espaçadas a no máximo cada 3 metros. Juntas verticais: espaçadas a uma distância máxima de 6 metros. Juntas verticais ou horizontais: sobre juntas estruturais, devendo ser respeitadas em posição e largura em toda espessura do revestimento. Juntas verticais ou horizontais (junta de dessolidarização): • cantos verticais e mudanças de direção do plano de revestimento, por exemplo, em quinas externas e internas; • em encontros da área revestida com pisos e forros, colunas, vigas ou com outros tipos de revestimentos; • onde houver mudanças de materiais que compõem o substrato.
Norma Australiana AS 3958.2 (AS, 1992)	Juntas horizontais: em cada pavimento, no alinhamento inferior de vigas e lajes. Juntas verticais: espaçadas a uma distância de 3 a 4,5 metros e em quinas internas. Juntas verticais ou horizontais: • sobre junta estrutural existente; • nos encontros do revestimento cerâmico com diferentes materiais de acabamento; • sobre encontros de diferentes materiais do substrato, quando o revestimento é contínuo sobre o mesmo.
Norma Alemã DIN 18515-1 (DIN, 1998)	Juntas horizontais: em cada pavimento, distância mínima de 3 metros. Juntas verticais: espaçadas a uma distância de 3 a 6 metros. Juntas verticais ou horizontais: entre diferentes materiais de revestimentos ou componentes construtivos.
Technical Report CEN/TR 13548 CEN (2004)	Juntas horizontais e verticais: não especifica distâncias. Esta norma orienta que deve ser especificada uma área (quadrada) ou distância mínima entre as juntas. Os diferentes limites ou valores de referência devem ser estabelecidos de acordo com as condições ambientais.
Norma Americana ANSI A108, A118 & A136 (ANSI, 2008)	Juntas horizontais e verticais: para variações de temperatura até 38 °C as juntas devem ser posicionadas a distâncias máximas de 4,87 m (16 pés), tendo abertura de 1,27 cm (1/2"). Para variações de temperatura acima de 38 °C, adicionar 1,6 mm à abertura da junta, para cada incremento de 9,44 °C (15 °F). Todas as juntas construtivas, de controle e de expansão do substrato. As juntas devem ser posicionadas sempre que o revestimento encontrar restrições (extremidades) e onde ocorrerem mudanças nos materiais da base.
Norma Inglesa BS 5385:part2 (BSI, 2006)	Juntas horizontais: em cada pavimento, preferencialmente em todas as mudanças materiais no substrato, no topo e no fundo da laje ou da viga de borda. Juntas verticais: espaçadas a uma distância de 3 a 4,5 metros, preferencialmente locadas sobre juntas estruturais, cantos internos e em todas as junções da alvenaria com a estrutura de concreto. Juntas verticais ou horizontais: • sobre junta estrutural existente; • nos encontros do revestimento cerâmico com diferentes materiais de acabamento; • sobre encontros de diferentes materiais do substrato, quando o revestimento é contínuo sobre ele; • nos ângulos verticais externos, podendo ser posicionadas a uma distância entre 25 e 100 cm, a partir da mudança de plano do revestimento.

podem possibilitar a infiltração de água. Esse procedimento preserva as características estéticas da fachada, pois as faces dos dois tipos de junta são muito semelhantes.

Cabe destacar que o posicionamento de juntas nesta região nem sempre é facilmente resolvido, pois há interferência também com as esquadrias de janelas. É comum que o projeto de arquitetura preveja o posicionamento da junta na face superior da esquadria; no entanto, principalmente quando são

utilizados contramarcos, nem sempre a face superior da esquadria coincide com o fundo da viga de borda, região de contato com a alvenaria de vedação, como pode ser visto na Figura 7.3.

Quanto mais distante a esquadria estiver do fundo da viga, mais distante a junta ficará posicionada em relação à região de maior solicitação e, portanto, poderá não cumprir sua função. Nessas situações, recomenda-se que a distância entre o fundo da viga e a efetiva posição da junta não seja superior a 25 mm.



FIGURA 7.3 Junta horizontal: posicionamento não coincide com o fundo da viga.

b) Juntas verticais

As juntas de movimentação verticais são também localizadas preferencialmente nos encontros entre a alvenaria e a estrutura, sendo que algumas diretrizes balizam as decisões de projeto quanto ao posicionamento dessas juntas.

As juntas de trabalho, deverão ser especificadas em locais onde há lajes ou vigas em balanço na fachada, sendo posicionadas no alinhamento do encontro desse elemento estrutural com seu pilar de apoio.

As juntas de dessolidarização, por sua vez, são recomendadas nas mudanças de direção do revestimento, em todas as quinas externas e internas.

As juntas verticais são também recomendadas para subdividir painéis de revestimento, sendo espaçadas a distâncias máximas de 6 metros (NBR 13755) em painéis cegos. De preferência, deve-se posicionar esta junta no alinhamento do encontro dos componentes estruturais com a alvenaria (Figura 7.4). Para tanto, podem ser especificadas juntas de trabalho, de dessolidarização ou de transição entre materiais, de acordo com a função necessária no painel de revestimento.

De modo geral, para o emprego de qualquer dos tipos de juntas, as dimensões e as aberturas existentes nos painéis devem ser criteriosamente analisadas, subdividindo-se as fachadas em

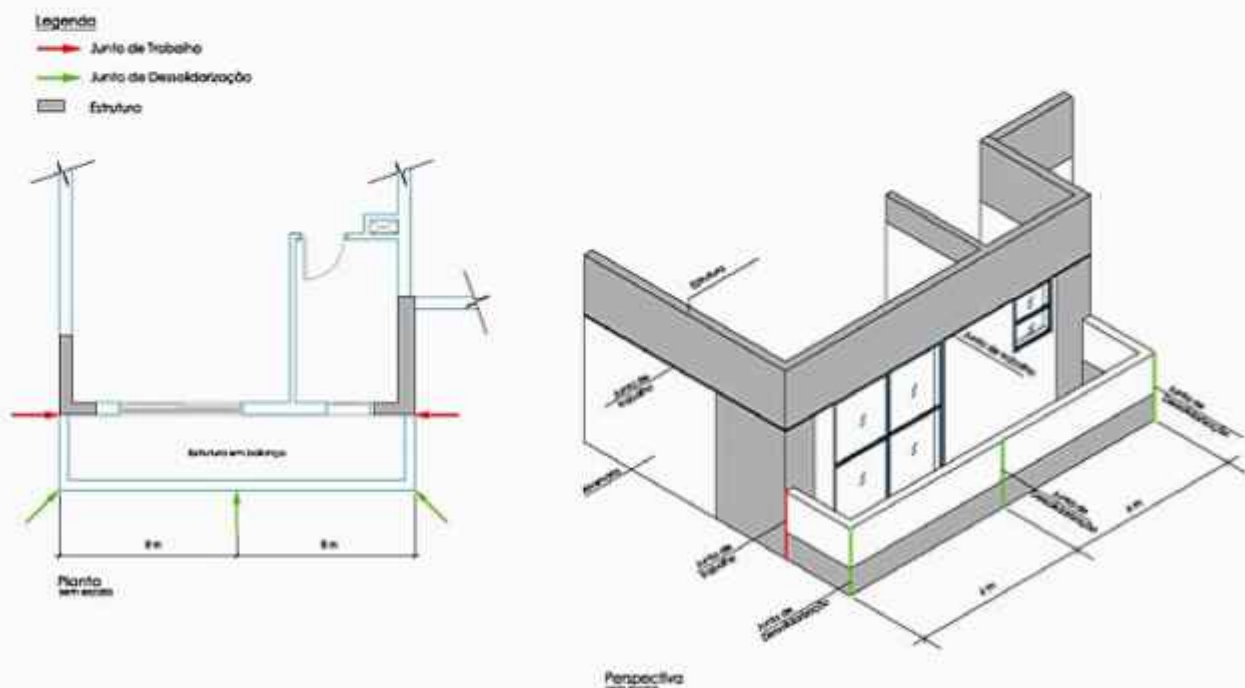


FIGURA 7.4 Exemplo de posicionamento de juntas de movimentação em projeto – planta e perspectiva.

áreas de no máximo 18 m², como prescreve a NBR 13755 (ABNT, 13755).

Mesmo estabelecendo as regras gerais, documentos mais recentes como o HANDBOOK FOR CERAMIC TILE INSTALLATION (TCA, 2008) não propõem diretrizes gerais para o posicionamento e dimensionamento das juntas, informando que as recomendações nele presentes são indicativas e não pretendem definir as suas especificações para um projeto em particular.

Percebe-se que esse consenso foi sendo introduzido nos documentos mais recentes. As experiências têm demonstrado que a definição do tipo e do posicionamento das juntas é influenciada por particularidades da construção, materiais das camadas, constituição da base, condições de temperatura e umidade previstas e o tamanho das áreas revestidas, assim como os movimentos previstos para o edifício como um todo.

Assim, para cada elemento da estrutura e seus revestimentos, os principais movimentos e sua magnitude devem ser identificados e considerados no projeto de juntas, para localizarem os pontos críticos de tensões, onde possivelmente as juntas deverão ser posicionadas.

7.2.2 Abertura da junta: largura e profundidade

Os itens que seguem têm por objetivo aplicar o conjunto de informações encontradas acerca da tecnologia de produção de juntas de movimentação aos revestimentos cerâmicos de fachadas.

a) Largura

A junta deve ser prevista para acomodar a somatória dos diversos movimentos de tração e compressão, reversíveis e irreversíveis, que poderão ocorrer nos pontos de maiores tensões. Essa previsão também depende do movimento que se quer absorver, se é um movimento da base ou um movimento da camada de acabamento.

Uma maneira de definir a largura da junta é estimando-se a quantidade de movimento máximo que poderá sofrer em sua utilização – de expansão e contração – e considerando esse valor como a dimensão mínima que a junta preenchida por determinado selante poderá obter (ASTM C1472, 2006).

Conhecendo-se a magnitude dos movimentos a que estará sujeita, a largura total da junta é obtida considerando-se o fator de acomodação do selante que será empregado, como indica a Equação 7.2.2.1:

$$L_0 = \frac{M * 100}{MAF} \quad \text{Equação 7.2.2.1}$$

Sendo:

- L_0 : Largura inicial da junta (mm)
 M : Movimento máximo da junta (mm)
 MAF : Fator de acomodação do selante (*movement accommodation factor*)

Dessa forma, quanto maior a capacidade de movimentação do selante, aumenta-se a possibilidade de se reduzir a abertura da junta.

É interessante observar que alguns documentos recomendam que a largura da junta seja múltipla da magnitude do movimento. O TCA (2008), por exemplo, recomenda que a largura da junta seja quatro vezes o tamanho do movimento previsto. Nesse caso, entende-se que seja considerado que será usado um selante cujo fator de acomodação será de, pelo menos, 25%.

Quanto aos valores limites da largura da junta em fachadas, o DTU 44.1 (AFNOR, 2002) recomenda que estejam entre 8 mm e 30 mm, utilizando selante cujo fator de acomodação seja de, no mínimo, 25%. Além dessas recomendações, foram encontradas as do TCA (2008) para revestimentos cerâmicos que limita a largura entre 9,5 mm e 12,7 mm; acredita-se, porém, que esses valores estejam possivelmente atrelados a variações de temperatura específicas do local.

Considerando as recomendações de distâncias entre as juntas horizontais e verticais entre 3 e 6 metros, estabelecidas nas referências estudadas, elaborou-se o diagrama da Figura 7.5, para exemplificar a determinação da largura das juntas de movimentação.

Nesse exemplo, a previsão da largura da junta foi feita em função da variação da temperatura de superfície (Δt), aplicando-se as Equações 3.2.1.1 e 7.2.2.1. Para o cálculo das aberturas, foi utilizado um coeficiente de movimento térmico linear da placa cerâmica de $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ e definiu-se que o selante possui fator de acomodação de 25%, tendo resultado em uma abertura mínima de junta de 8 mm.

É importante ressaltar que neste exemplo foi considerado apenas o movimento térmico das placas cerâmicas e que, para a determinação da largura da junta para acomodar demais movi-

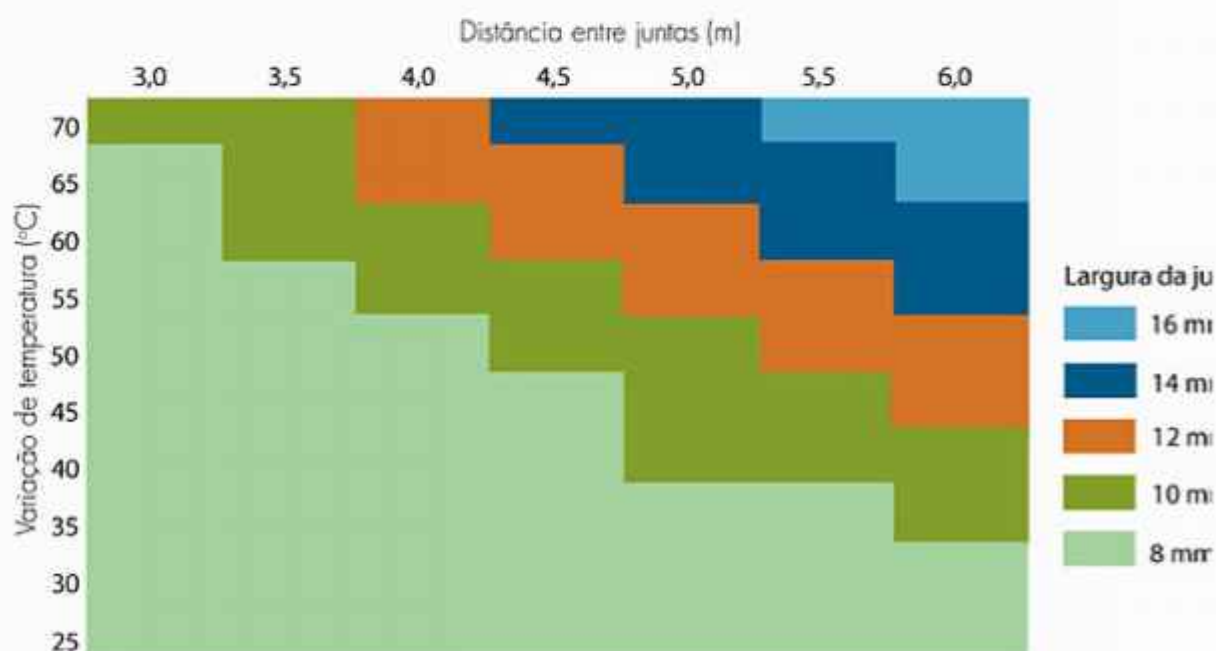


FIGURA 7.5 Diagrama para determinação da largura da junta em função da variação da temperatura.

mentos, é necessário um estudo mais abrangente.

b) Profundidade da junta

A profundidade da junta de movimentação no sistema de revestimento cerâmico é determinada pelo corte da camada de emboço. A decisão de realizá-lo em toda a espessura da camada de emboço ainda não é unânime nos documentos normativos ou de referência estudados.

Segundo a BS 5385: part2 (2006), a AS 3958.2 (AS, 1992) e a CEN/TR 13548 (CEN, 2004), a junta de movimentação deve se estender através da espessura das placas, da camada de fixação e de toda a camada de emboço. O TCA (2008), por sua vez, determina que o critério para a abertura do emboço ao executar a junta, é o tipo de movimento que a junta terá de acomodar. Segundo o documento, caso a junta esteja prevista para acomodar movimentos de expansão, deve estender-se por toda

camada de emboço; caso seja prevista para controle da fissuração, o emboço deve ser cortado parcialmente em sua profundidade, como indica a Figura 7.6, sendo esse detalhe o recomendado no presente trabalho, pois contribui para minimizar problemas de estanqueidade do revestimento.

c) Profundidade do selante

A profundidade do selante também é especificada no projeto de juntas e deve ser rigorosamente verificada, sobretudo, durante a aplicação do selante. O fator de forma é a relação dimensional entre a largura (L) e a profundidade (P) da seção formada do selante em uma determinada junta, conforme ilustra a Figura 7.7. A profundidade do selante deve ser medida no centro do perfil do selante, que tem a forma de ampulheta.

Segundo Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998), nos movimentos da junta, a extensão do selante faz que ocor-

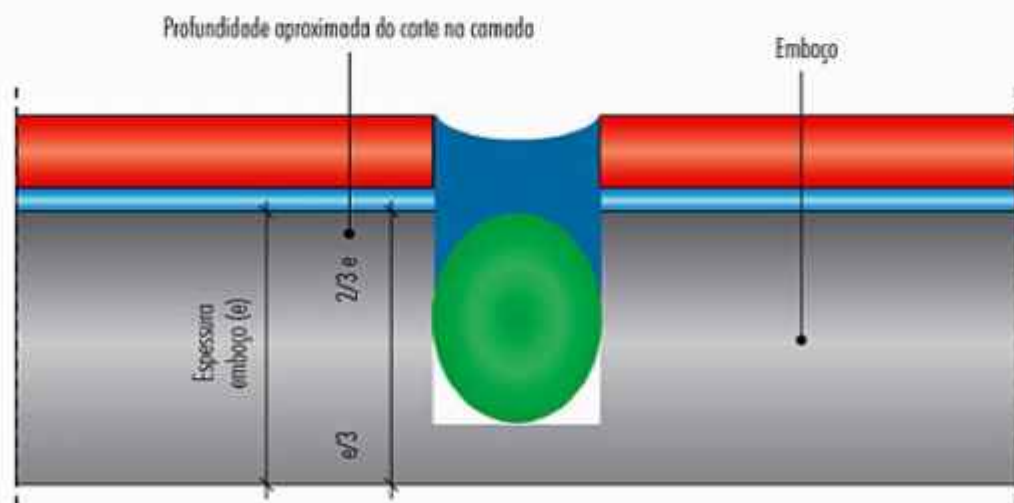


FIGURA 7.6 Perfil da junta de movimentação com corte parcial no emboço para controle de fissuração.

ra a redução em sua seção transversal de maneira não-uniforme, localizada, sobretudo, no centro da seção, onde é observada a sua redução máxima. A dificuldade de extensão do selante aumenta, quanto maior for sua profundidade original. Esse efeito produz grande concentração nos limites da interface do selante com o substrato. Assim, o controle da profundidade do selante faz-se necessário para minimizar essas tensões. Uma junta de movimentação com proporção adequada entre a largu-

ra e a profundidade acomodará melhor os movimentos, sem se romper.

O fator de forma de um selante depende de suas características intrínsecas, assim as proporções entre largura e profundidade (fator de forma) e as profundidades máximas recomendadas para alguns tipos mais comuns de selantes estão relacionadas na Tabela 7.3.

d) Influência das condições de temperatura

Os movimentos da junta são determinados principalmente a partir das

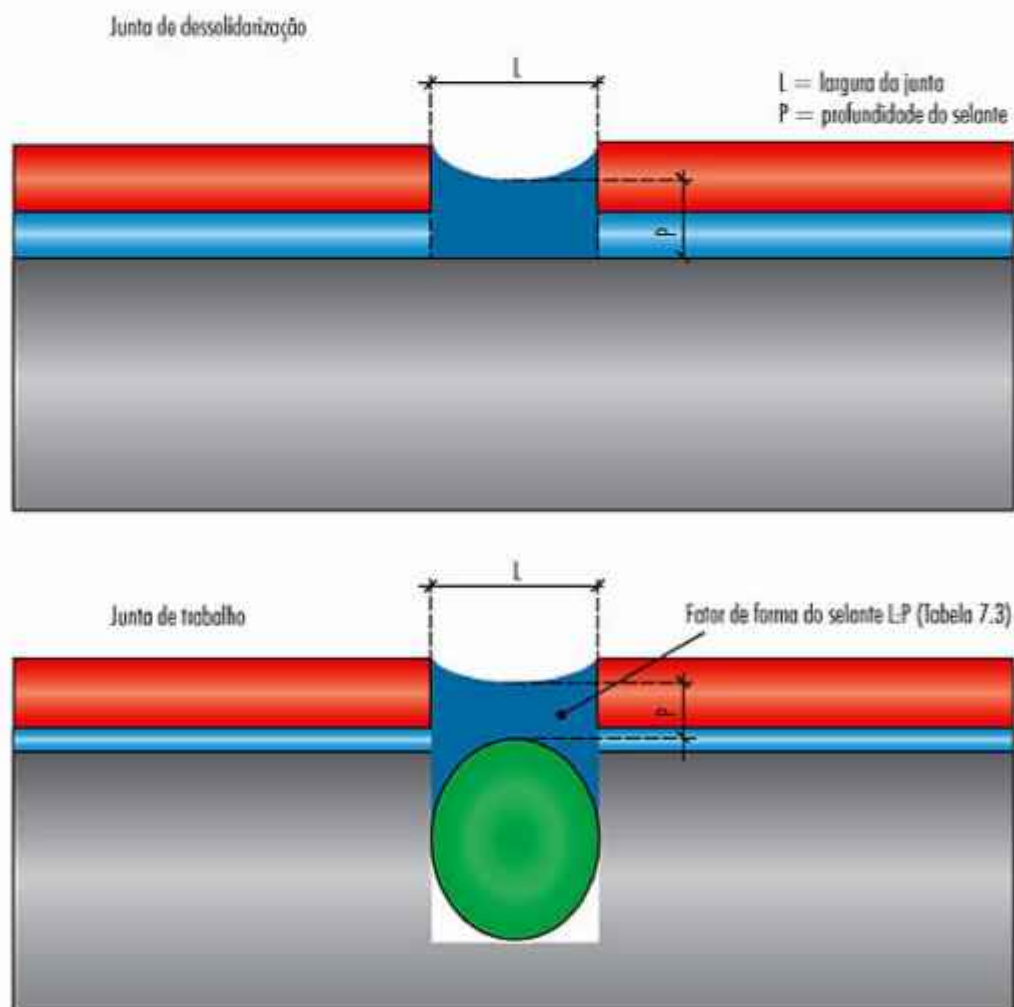


FIGURA 7.7 Seção de juntas de dessolidarização e de trabalho: representação do fator de forma do selante.

TABELA 7.3 Fator de forma para diferentes tipos de selantes.

Tipo de selante	Fator de forma (Largura: profundidade)	Profundidade máxima (mm)
Elásticos	2:1	20
Elastoplásticos	2:1 a 1:1	20
Plastoelásticos	1:1 a 1:2	20
Plásticos	1:1 a 1:3	25

Fonte: LEDBETTER, HURLEY e SHEEHAN (1998).

variações de temperaturas. Assim, para o cálculo da largura da junta, deve ser considerada, também, a temperatura em que será realizada a aplicação do selante, principalmente se a execução for prevista para ocorrer em períodos de temperaturas extremas.

Quando executada em temperaturas moderadas, a junta estará sujeita tanto à tração quanto à compressão, ou seja, a abertura estará em uma dimensão ilustrada na Figura 7.8 (a) mediana. Essa situação de aplicação é a mais adequada, uma vez que os movimentos não são extremos como os descritos nos casos seguintes.

Em razão do movimento térmico, se o selante for aplicado durante os meses mais frios do ano, a junta estará aberta (porque os elementos construtivos estarão contraídos). Consequentemente, quando ocorrer a dilatação térmica dos materiais adjacentes, nos meses quentes do verão, a abertura estreitar-se-á, comprimindo o selante, como ilustra a Figura 7.8 (b).

Por outro lado, se o selante for aplicado durante os meses quentes do ve-

rão, a junta estará fechada. Logo, quando ocorrer contração térmica dos materiais adjacentes nos meses frios, ocorrerá o aumento da abertura da junta, estendendo o selante, como ilustra a Figura 7.8 (c).

7.3 Seleção dos materiais

Estando definidas a posição e as dimensões das juntas, a etapa seguinte é voltada para a escolha dos materiais que tenham propriedades para o cumprimento das exigências de durabilidade das juntas do edifício.

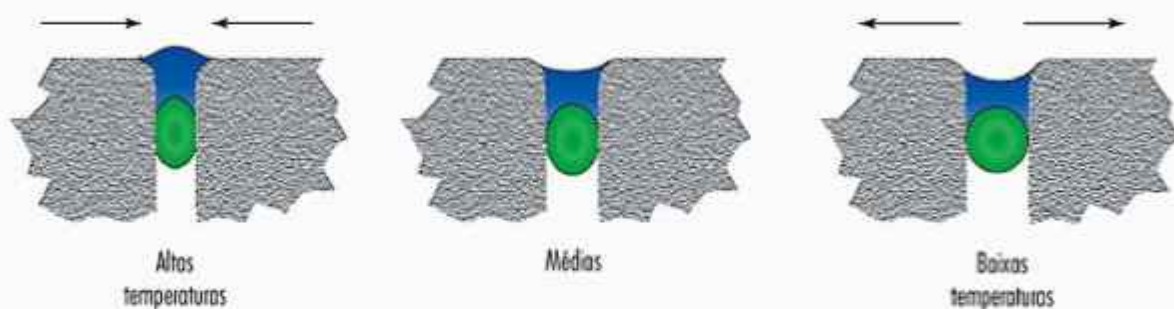
7.3.1 Escolha do selante

O selante é o material responsável pelo cumprimento da maior parte das funções da junta; assim, sugere-se iniciar a seleção dos materiais pela sua determinação e, em seguida, escolhe-se os demais, que deverão ser compatíveis com ele.

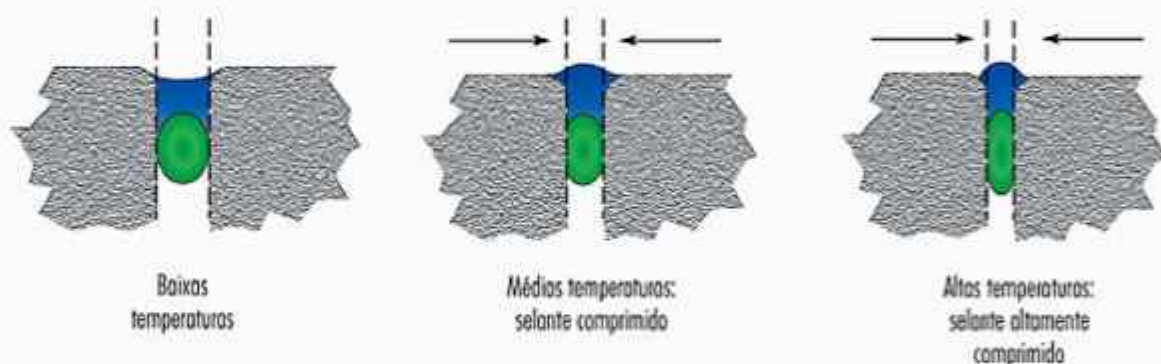
Os fabricantes devem indicar claramente nas especificações técnicas dos seus produtos o potencial de adesão dos seus selantes aos vários materiais utilizados na construção civil. As con-

dições de preparo de superfície e de imprimação também devem ser claramente definidas (LEDBETTER, HURLEY e SHEEHAN, 1998; COGNARD, 2004).

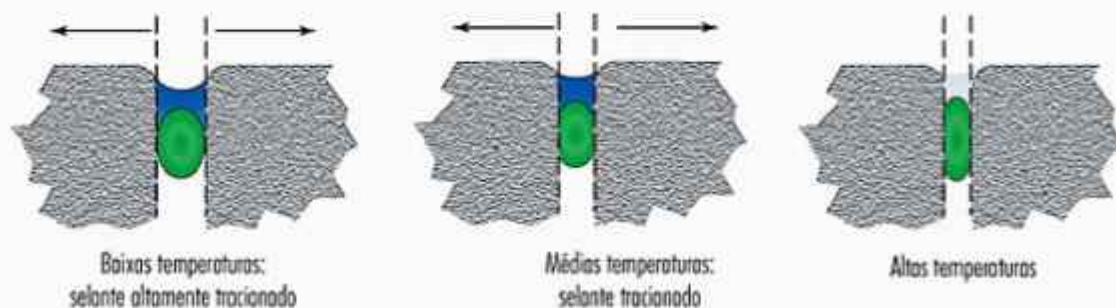
Como anteriormente enfatizado, a capacidade de movimentação do selante deve ser suficiente para absorver os possíveis movimentos que ocorrerão no sistema de revestimento. Caso con-



a) Selante aplicado na junta em temperaturas moderadas.



b) Selante aplicado em baixas temperaturas.



c) Selante aplicado em altas temperaturas.

FIGURA 7.8 Influência da temperatura na execução da junta. Comportamento de juntas seladas em temperaturas moderadas. Fonte: TREMCO INCORPORATED (2000).

trário, podem ocorrer falhas sob a forma de ruptura adesiva ou coesiva que levam, também, à degradação da junta (ASTM C1193, 2009).

Conforme descrito no item 7.2.2, a largura da junta pode ser obtida em função dos movimentos previstos e da capacidade de movimentação do selante que será empregado; porém, quando essa característica do selante ainda não estiver definida, tendo-se determinado os movimentos e a largura da junta, emprega-se a mesma Equação 7.3.1.1, isolando o fator de acomodação do selante (MAF), com o objetivo de determinar a capacidade de deformação que o selante deverá apresentar, para que se faça a especificação da classe mínima do selante, determinando seu fator de acomodação, como indica a Equação 7.3.1.2:

$$MAF = \frac{M * 100}{L_0} \quad \text{Equação 7.3.1.2}$$

Sendo:

MAF: Fator de acomodação do selante
(*movement accommodation factor*)

L_0 : Largura inicial da junta (mm)

M: Movimento máximo da junta (mm)

Além das propriedades relacionadas à capacidade de movimentação, a escolha do selante deve reunir informações relevantes para se definir as características necessárias ao cumprimento dos requisitos de desempenho estético e de durabilidade, em função dos períodos em que se espera determinar a execução do resselamento.

Os catálogos dos materiais, informações de fornecedores, verificação em edificações vizinhas, ensaios em laboratório e experimentações no local são fontes importantes de que o projetista poderá lançar mão para obter as informações necessárias para a definição do selante, cujas principais, segundo Ledbetter, Hurley e Sheehan (1998) são:

- Aparência do selante no início e ao longo do tempo: o projetista deve estar ciente de que escolher determinada cor de selante para uma aplicação específica pode ser dispensável, uma vez que pode mudar de cor em poucos anos, dependendo do local e das condições ambientais.
- Características do substrato: propriedades do selante necessárias para adesão, interação química, interação física (manchamento) e necessidade de *primers*.
- Condições a que estarão expostos: envelhecimento, vandalismo.
- Períodos prováveis de manutenção: custo, facilidade de resselamento.
- Condições previstas para a aplicação: acesso, época do ano, preparação da superfície, movimentos possíveis do revestimento durante o tempo de cura.

Segundo os autores, o projetista, ao definir o tipo de selante, deve fornecer ao executor as informações necessárias para a aquisição e aplicação do selante, as quais consistem em informações gerais sobre os produtos, propriedades necessárias durante a aplicação e propriedades de uso, que devem ser fornecidas no projeto de juntas (Tabela 7.4).

TABELA 7.4 Informações a serem fornecidas pelo Projetista de Revestimentos na especificação do selante.

Informações gerais	
Descrição	Tipo genérico do selante/mecanismo de cura
Cor	Escala de cores disponíveis
Consumo	Densidade
Vida útil antes da utilização	Condições de armazenamento requeridas
Substratos	Compatibilidade física, química, adesiva
Normas/códigos/especificações	BS/ISO/ASTM
Instruções de uso	Mistura, aplicação
Falhas	Tipos mais comuns de falhas
Propriedades para aplicação e cura	
Escala de temperatura e umidade	Mínima/máxima para aplicação e cura
Dimensão da junta	Mínima/máxima para aplicação do selante
Vida útil de aplicação	Condições indicadas para aplicação e acabamento
Cura inicial	Tempo previsto para início de cura
Cura total	Tempo previsto para fim de cura
Adesão	Necessidade e tipos de <i>primer</i> para substratos comuns
	Umidade da superfície aceitável ou não
	Problemas de superfícies
Propriedades em uso	
Módulo	Tensão e temperatura indicadas na tração
Fator de acomodação	Com identificação da norma utilizada para determinação da propriedade
Largura/profundidade	Dimensões e tolerâncias recomendadas
Adesão e coesão	Requisitos a serem cumpridos pelo selante para capacidade de movimento sob condições do Ciclo de Hockman ASTM C719
Adesão superficial	Requisitos a serem cumpridos pelo selante para força de adesão nos substratos (ASTMC794)
Dureza	Requisitos a serem cumpridos pelo selante para Dureza Shore pelo método de ensaio ASTM C661
Resistência ao calor	Requisitos a serem cumpridos pelo selante para resistência ao calor pelo método de ensaio ASTM1246
Estabilidade de cor	Requisitos desejados para estabilidade de cor
Características de movimento	Plástico, elástico etc.
Resistência	Química e à ação da água
Vida útil	Normalmente esperada

Adaptada de LEDBETTER, HURLEY e SHEEHAN (1998).

Uma prática adotada no projeto de juntas de movimentação é a realização de ensaios para averiguar as características dos materiais constituintes e também para assegurar a durabilidade

do selante e a sua compatibilidade aos demais elementos do sistema.

A partir do conjunto de normas de selantes do comitê C24 da ASTM, elencou-se na Tabela 7.5 alguns dos métodos

TABELA 7.5 Requisitos para aceitação de selantes para uso em substratos de argamassa e vidro.

Característica do selante	Requisito de selantes para uso em substratos de argamassa (Use M) ASTM C920	Método de ensaio
Adesão/coesão Capacidade de movimento	A perda em área total de adesão e coesão nas áreas de 3 amostras não deve ser maior que 9 cm ² , quando testados pelo método ASTM C719 com argamassa ou outro substrato específico.	ASTM C719 Standard Test Method for Adhesion and Cohesion of Elastomeric Joint Sealants Under Cyclic Movement (Hockman Cycle).
Adesão superficial	A força de adesão superficial para cada amostra deve ser maior que 22,2 N quando testado de acordo com método de ensaio ASTM C794 em substrato de argamassa ou outro substrato.	ASTM C794 Stand Test Method for Adhesion-in-Peel of Elastomeric Joint Sealants.
Dureza	O selante para áreas não trafegáveis (uso NT), após apropriadamente curado, deve ser maior que 15 e menor que 50 Shore A, quando testado de acordo como método de ensaio ASTM C661.	ASTM C661 Standard Test Method for Indentation Hardness of Elastomeric-Type Sealants by Means of a Durometer.
Resistência à ação do calor	Não deve ocorrer perda de peso superior a 7% do peso original do selante, fissuras ou riscos quando testados pelo método de ensaio ASTM C1246.	ASTM C1246 Standard Test Method for Effects of Heat Aging on Weight Loss, Cracking, and Chalking of Elastomeric Sealants After Cure.
Envelhecimento acelerado	O selante não deve apresentar fissuras maiores que as apresentadas na Figura 5.7 após ter sido exposto aos raios ultravioleta e a baixas temperaturas e ao ensaio de flexão quando testado pelo método de ensaio ASTM C793.	ASTM C793 Standard Test Method for Effects of Accelerated Weathering on Elastomeric Joint Sealants.
Estabilidade de cor	A cor do selante aos 14 dias de cura, a 23 °C e 50% de umidade relativa do ar, deverá ser acordada entre o comprador e o fornecedor. O selante não deverá apresentar nenhum manchamento na superfície em uma base de argamassa cimentícia quando testado pelo método ASTM C510.	ASTM C510 Standard Test Method for Staining and Color Change of Single- or Multicomponent Joint Sealants.

Fonte: ASTM C920 (ASTM, 2008)

de ensaios exigidos pela norma de especificação de selantes elastoméricos, a ASTM C920 (ASTM, 2008), os quais podem ser considerados mais aplicáveis para assegurar o desempenho desses materiais, quando aplicados às juntas de fachadas. Entretanto, cabe destacar que esses métodos não estão inteiramente desenvolvidos e disponíveis nos laboratórios de ensaios do mercado brasileiro, sendo, portanto, uma proposta a ser avaliada pelo meio técnico.

7.3.2 Especificação do *primer*

Como anteriormente salientado, em revestimentos cerâmicos de fachadas, o *primer* deve ser especificado sempre que houver a indicação do fabricante do selante ou em situações em que possa haver a liberação de umidade residual, como nos casos em que a aplicação do selante venha a ser feita antes da cura completa das argamassas (o que não é recomendado como boa prática) ou quando a aplicação ocorrer em dias após períodos de chuvas. As normas ANSI A108; A 118; A 136 (ANSI, 2008) advertem que para alguns tipos de selantes o uso de *primer* é imprescindível nas laterais das placas cerâmicas.

Segundo a ASTM C1193 (ASTM, 2009), o *primer* é especialmente desenvolvido pelo fabricante de selante e sua formulação deve ser adequada aos diferentes selantes, substratos e, em alguns casos,

ao uso e às condições de exposição. Assim, em todo caso, é importante consultar o fabricante, devendo-se sempre utilizar o *primer* recomendado para cada tipo de selante.

Além disso, é imprescindível que sejam realizados testes de adesão no próprio local, antes da execução do selamento das juntas. Um teste prático para avaliação da aderência em campo, que auxilia a detectar problemas de aplicação, limpeza inadequada, uso indevido de *primer*, aplicação de maneira inadequada ou configuração incorreta da junta, é apresentado por Beltrame e Loh (2009). Deve ser realizado no local da selagem, após a cura do selante, geralmente entre 7 e 21 dias. São feitas pequenas incisões nas laterais e na seção da junta e, ao puxar o selante, este deve se romper no ponto final da incisão (Figura 7.9).

7.3.3 Especificação do limitador de profundidade

Quanto à escolha do limitador de profundidade, pelo desconhecimento da importância de suas funções no desempenho da junta, em muitas obras tem ocorrido o emprego de materiais residuais de obra, como papelão, partes de sacos de cimento ou mesmo mangueira de PVC em substituição ao limitador (FERME, 2005)³.

3 FERME, L. F. G. Informações registradas em reunião do grupo selantes e desmoldantes. CONSI-TRA (Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassa). Reunião ocorrida na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 18 agosto de 2005

A ASTM C1193 (ASTM, 2009) recomenda que o limitador de profundidade de espuma de células fechadas tenha um diâmetro 25% a 33% superior à largura da junta, para assegurar uma adequada compressão quando colocado. É importante lembrar que alguns tipos de limitador de profundidade podem ser incompatíveis com o substrato ou com o selante com os quais serão utilizados, podendo causar manchas em um ou em outro; por isso, é importante realizar teste de compatibilidade antes da sua utilização.

7.3.4 Especificação da fita isoladora

Quanto à escolha da fita isoladora, é importante comprovar sua caracte-

rística antiaderente com o selante a ser empregado.

A escolha dos demais componentes da junta deve considerar sua compatibilidade com os selantes, entre os próprios materiais e com os substratos, para prevenir sua deterioração prematura, que resulta na perda da estanqueidade da fachada, pois, ocasionalmente, materiais que estão nas proximidades, mas não em contato direto com o selante, podem ter efeito sobre o selante aplicado (ASTM C1193, 2009). A incompatibilidade entre os materiais e o selante pode causar, no mínimo, a descoloração do selante ou, em seu extremo, a deterioração ou a perda da adesão. Os materiais selantes devem ser compatíveis também às condições ambientais.



FIGURA 7.9 Teste para verificação da adesão do selante em campo. (BELTRAME e Ioh, 2009).



Fotos: Marcelo Scandaroli

Orientações para Execução das Juntas

O adequado desempenho da junta depende, além de um adequado projeto, de mão de obra capacitada para bem executar o que foi especificado no projeto. Na prática, mesmo que se adquira o melhor selante e desenvolva um adequado projeto que contemple, inclusive, a sequência de atividades de execução, a junta pode ter seu desempenho comprometido se não for corretamente executada.

A norma BS 6093 (BSI, 2006) lista diversos fatores importantes a serem observados durante o controle da execução, destacando que:

- o posicionamento das juntas deve ser realizado rigorosamente de acordo com o estabelecido em projeto.
- deve-se observar rigidamente a sequência de atividades especificadas para a execução do conjunto.
- cada etapa da execução deve ser inspecionada antes do início da próxima atividade.
- operações difíceis de serem realizadas, como a abertura das juntas e o acabamento do selante, deverão ser cuidadosamente observadas para que sejam executadas corretamente.

Visando auxiliar no desenvolvimento de um adequado projeto para produção, na sequência são apresentadas as principais atividades envolvidas na execução e no controle da produção das juntas.

8.1 Atividades que antecedem a execução

8.1.1 Planejamento do trabalho: prazos entre etapas

As etapas de execução da junta ocorrem em fases distintas do processo de produção dos revestimentos de fachada.

A abertura da junta é a atividade que dá início à sua execução, havendo duas possibilidades principais para isso: em conjunto com a execução do emboço ou, posteriormente, com o emboço endurecido.

O corte da junta após o emboço endurecido traz o inconveniente de exigir o corte mecânico com disco, o que eleva o custo de produção. Além disso, a operação de corte com disco expõe o revestimento a um maior potencial de danos, principalmente em função das dificuldades de realização da atividade, que podem comprometer a obtenção da correta geometria da junta. Assim, sempre que possível, deve-se dar preferência ao corte com a camada de emboço recém-aplicada. Esse procedimento permite a realização da junta sem o emprego de disco de corte, uma técnica recomendada por este trabalho e apresentada a seguir.

A membrana impermeabilizante, quando presente, é realizada após a completa cura do emboço, antes do assentamento das placas cerâmicas, e, por fim, apenas após o assentamento e rejuntamento das placas cerâmicas é realizado o selamento da junta.

Para iniciar o processo de produção dos revestimentos das fachadas, é fundamental que as principais movimentações da estrutura tenham ocorrido. Ou seja, para minimizar os efeitos das deformações da estrutura sobre as alvenarias e os revestimentos, é fundamental que a execução do revestimento se inicie após pelo menos 60 dias da execução da estrutura e 14 dias da fixação das alvenarias, as quais devem ter sido executadas há, no mínimo, 30 dias.

Além desses prazos iniciais, devem ser observados prazos mínimos entre etapas de revestimento de fachada. Esses prazos têm de ser estabelecidos no projeto de produção do revestimento; portanto, são de atribuição do projetista. A título de referência, na Figura 8.1 são apresentados os prazos mínimos recomendados com base na ABNT NBR 13755 (1996), os quais são fundamentais para a qualidade do revestimento.

8.1.2 Ferramentas e equipamentos

A adequada produção das juntas pressupõe profissionais devidamente treinados e o uso de ferramentas adequadas ao seu trabalho.

Para demarcar o posicionamento, realizar a abertura da junta no emboço

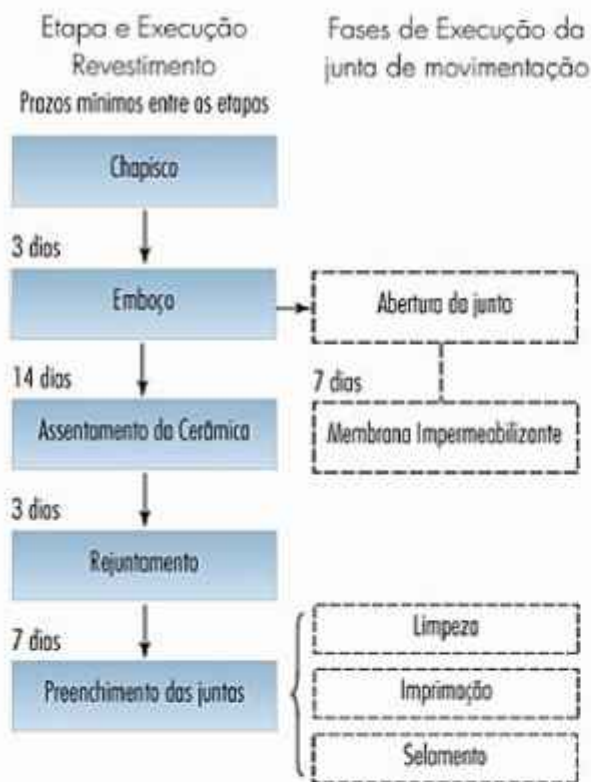


FIGURA 8.1 Prazos mínimos a serem obedecidos entre as etapas de execução do revestimento.

e aplicar a membrana, é necessário que o profissional tenha em mãos: nível, arame, trena, masseira, pincel, régua-guia e cortador do revestimento, além de material para execução da membrana de impermeabilização da abertura – membrana industrializada ou resina acrílica e cimento – e seus equipamentos de segurança, como pode ser visto nas Figuras 8.2 e 8.3.

Para o preenchimento das juntas, além dos materiais de preenchimento – limitador de profundidade, fita isoladora e selante – são necessários: escova macia para limpeza do fundo da junta, pano branco, trena, pincel, estilete, pistola aplicadora do selante, espátula ou tubo de PVC para acabamento e os equipamentos de segurança (Figura 8.4).



FIGURA 8.2 Principais ferramentas e equipamentos utilizados nas etapas de abertura e execução de membrana impermeabilizante das juntas.



FIGURA 8.3 Detalhe da régua-guia e cortador do revestimento.



FIGURA 8.4 Principais ferramentas e materiais utilizados na etapa de preenchimento das juntas seladas.

8.2 Abertura da junta

A execução da junta inicia-se com a demarcação da sua posição, conforme as definições de projeto. Para essa atividade, emprega-se mangueira de nível (Figura 8.5) para as juntas horizontais e os arames de referência para as juntas verticais.

É comum que o projeto de revestimento preveja uma junta horizontal que

coincida com o encontro da alvenaria com a estrutura, na região superior das esquadrias. Nesses casos, deve-se tomar cuidado com o posicionamento da junta, pois a abertura deverá estar o mais próximo possível da região de encontro da alvenaria com o fundo da viga. Essa região nem sempre coincide com o alinhamento superior da esquadria da



FIGURA 8.5 Demarcação da posição da junta horizontal na fachada, com auxílio do nível de mangueira.

janela, onde é comum o projetista especificar o posicionamento da junta.

O afastamento do fundo da viga em relação à face superior da esquadria depende da precisão geométrica do vão da esquadria e da técnica adotada para sua fixação. Quando do uso de contramarcos previamente fixados à alvenaria, pode ocorrer um excessivo afastamento

da esquadria com relação ao fundo da viga. Nesse caso, o posicionamento da junta acompanhando o topo da esquadria pode resultar num posicionamento inadequado da junta (Figura 8.6).

Nesses casos, para evitar problemas de mau funcionamento da junta, recomenda-se que o afastamento máximo entre o posicionamento da junta e o

A Junta não coincide com o fundo da viga



FIGURA 8.6 Posicionamento inadequado da junta — grande afastamento da região de encontro da alvenaria com a estrutura.

fundo da viga não seja superior à metade da espessura do revestimento.

Após a demarcação, a abertura da junta (corte do emboço) deve ser realizada imediatamente após a execução do revestimento. O corte deve ser feito com o auxílio de uma régua dupla, cujo afastamento resulta na espessura definida para a junta e de um frisador que deve ter a seção transversal prevista (Figuras 8.7 e 8.8).

A ferramenta denominada frisador tem dupla função: permite o corte da argamassa e a compactação da região da junta, consolidando-a.

A abertura da junta resultante desse procedimento deve apresentar seção uniforme, ter a superfície compactada e não deve apresentar irregularidades que prejudiquem o ajuste e a compressão do limitador de profundidade (TCA, 2008). O executor deve estar orientado a comuni-



FIGURA 8.7 Execução do corte da junta com auxílio de régua e frisador.



FIGURA 8.8 Detalhe da régua dupla e frisador em utilização.

car ao gestor da obra qualquer problema na abertura da junta, como dimensões inadequadas da abertura, ausência de alinhamento e desagregação do substrato.

Assim, para liberação do serviço, é importante que se verifiquem a largura e a profundidade da junta, com o auxílio de um gabarito, sua correta localização, seu nivelamento e alinhamento e a integridade das bordas.

8.3 Membrana impermeabilizante

Após a abertura da junta, decorrido o período de secagem do emboço e realizada a limpeza do local da junta, é possível executar a membrana impermeabilizante sobre a superfície da junta. O passo a passo para esse tratamento da cavidade da junta é ilustrado nas Figuras 8.9 e 8.10.

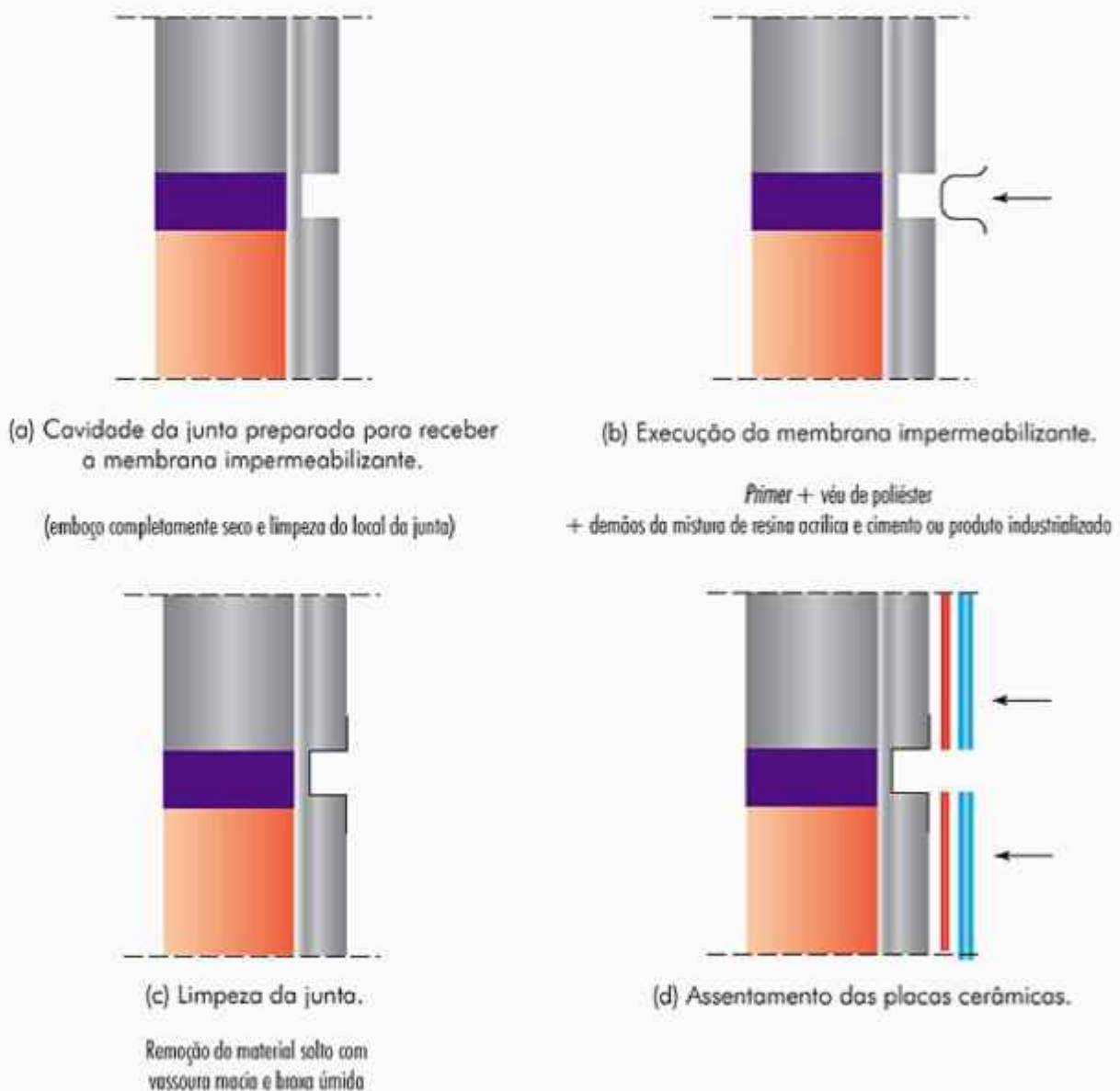


FIGURA 8.9 Juntas de Trabalho: tratamento impermeabilizante da abertura da junta.



(a) Preparo da superfície – aplicação de *primer* à base de resina acrílica e cimento ou produto industrializado



(b) Posicionamento de véu de poliéster com a aplicação da 1ª demão de resina acrílica e cimento ou produto industrializado.



(c) Aplicação da 2ª demão de resina acrílica e cimento ou produto industrializado.



(d) Aplicação da 3ª demão de resina acrílica e cimento ou produto industrializado.

FIGURA 8.10 Procedimento para execução de membrana impermeabilizante e estrutura com véu de poliéster.

Após a aplicação e secagem da membrana, pode ter início o assentamento das placas cerâmicas (Figura 8.9 (d)) e, posteriormente, completa-se o preenchimento da junta.

8.4 Proteção durante o assentamento do revestimento cerâmico

A cavidade da junta permanecerá sem preenchimento até que o assentamento e rejuntamento do revestimento cerâmico terminem. Assim, enquanto se executa o revestimento cerâmico, a proteção da cavidade da junta é essencial, de forma a impedir que se acumule argamassa colante e de rejuntamento em seu interior. Resíduos dessas argamassas que eventualmente caiam na abertura da junta devem ser imediatamente retirados, pois, caso endureçam ali, poderão prejudicar as atividades de preenchimento e selamento da junta.

8.5 Preparo dos substratos

O correto preparo dos substratos da junta para receber a aplicação do material selante assegura sua correta adesão e consiste na limpeza da cavidade, imprimação da superfície com a aplicação do *primer* especificado em projeto e proteção da abertura da junta. Para tanto, Gorman e colaboradores (2001) destacam que, na execução das juntas, é de responsabilidade do

aplicador: verificar a limpeza da junta; conferir sua largura com a largura especificada em projeto; realizar corretamente a imprimação dos substratos; verificar o correto posicionamento do limitador de profundidade, a correta profundidade do selante e o correto acabamento da junta.

8.5.1 Limpeza

A superfície e os poros do substrato da junta devem estar livres de substâncias deletérias, como óleos, graxas, materiais pulverulentos, resíduos de argamassas e materiais solúveis em água. Segundo a ASTM C1193 (2009), esses contaminantes podem reduzir a capacidade do selante de aderir ao substrato; por isso, têm de ser removidos completamente.

Além disso, é importante que a cavidade da junta esteja seca. A umidade do substrato impede a aderência do *primer* e do selante que serão aplicados na junta. Cabem algumas exceções para a aplicação de selantes à base de dispersão aquosa, pois admitem a presença de alguma umidade superficial (BELTRAME E LOH, 2009).

A ASTM C1193 (2009) também adverte que a qualidade da limpeza da cavidade da junta é tão importante quanto à qualidade do selante. Os principais procedimentos para essa limpeza são ilustrados na Figura 8.11.

Apesar de alguns autores recomendarem o uso de solventes para remoção das sujidades de substratos não-poro-



(a) Limpeza da cavidade da junta com uma escova de cerdas macias, com completa remoção de material pulverulento.



(b) Toda a sujeira contida na junta é passível de remoção com a escova e deve ser completamente retirada nesta etapa do processo.



(c) Limpeza da junta com pano seco, limpo e branco (100% algodão). O procedimento deverá ser repetido sucessivamente, até que o pano não demonstre sinais de sujeira.



(d) Momento correto para a continuidade do procedimento.

FIGURA 8.11 Procedimento para limpeza da cavidade da junta (substrato).

tos, a ASTM C1193 (2009) não os indica, uma vez que tendem a dissolver contaminantes e, então, novamente depositá-los em seus poros. Nessa situação, a remoção torna-se mais difícil. Quando as incrustações forem de difícil remoção, recomenda-se, além da escovação, a aplicação de ar-comprimido.

8.5.2 Proteção das bordas

A proteção das bordas deve ser realizada colocando-se fita adesiva de papel crepe sobre as placas cerâmicas rente à abertura, evitando cobrir a superfície onde o selante vai aderir (Figura 8.12 e Figura 8.13). A proteção das bordas da junta contribui para a qualidade do acabamento do selamento, pois confere-lhe

uma apresentação limpa e de geometria regular. A fita adesiva deve ser aplicada nas laterais da junta que será produzida, pressionando-a fortemente nas regiões de rejunte, para evitar a penetração do selante.

Após a limpeza e proteção das bordas, deve ser tomado especial cuidado contra a entrada de substâncias que podem contaminar o selante. A BS 5385-2 (BSI, 2006) recomenda que as juntas que aguardam preenchimento sejam protegidas por uma fita adesiva. Por outro lado, o documento recomenda que, nos casos em que houver umidade nas juntas, que elas permaneçam expostas, a fim de permitir sua completa secagem.

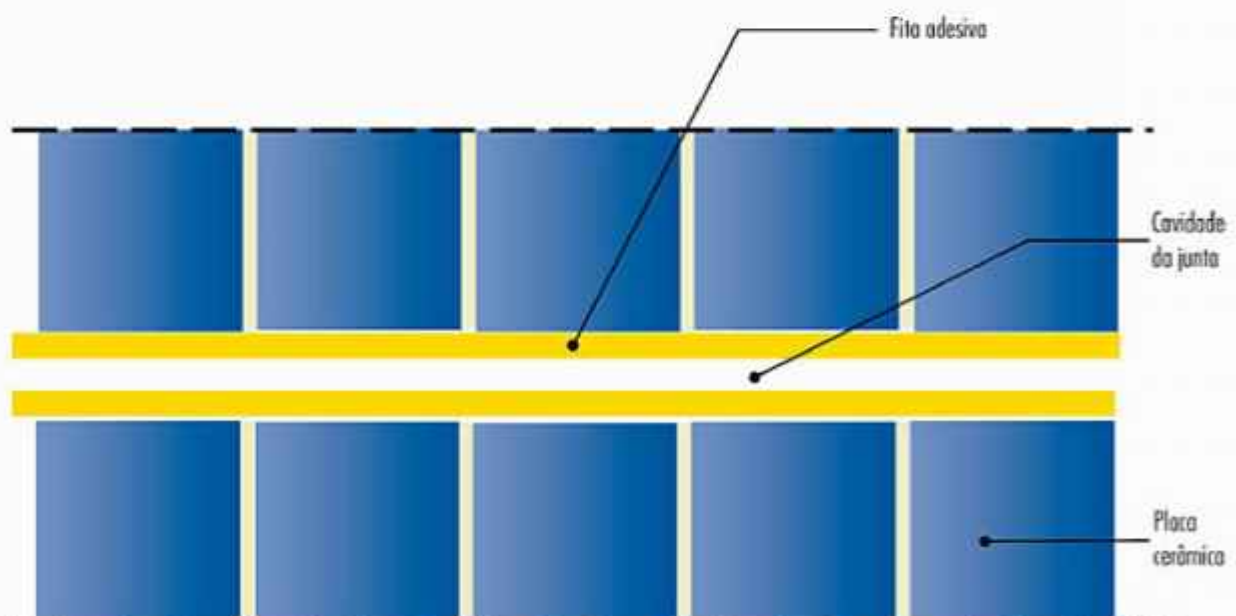


FIGURA 8.12 Abertura da junta preparada para aplicação do selante, com a fixação de fita de papel crepe sobre a superfície da placa cerâmica para evitar a aderência do selante.



(a) Aplicar a fita adesiva sobre as placas cerâmicas rente à abertura da junta.



(b) É importante aplicar a fita somente onde será aplicado o selante naquele mesmo dia.



(c) Pressionar a fita adesiva sobre as juntas de assentamento para evitar a penetração do selante sobre o rejunte.

FIGURA 8.13 Proteção das bordas das placas cerâmicas na abertura da junta.

8.5.3 Imprimação

O uso de *primer* para melhorar a adesão do selante aos substratos da junta não substitui a limpeza. Quando o projeto recomenda a imprimação, é importante observar os prazos informados na embalagem do produto, pois,

geralmente, depois de aberto, a validade é pequena. Deve-se observar também o tempo em aberto recomendado pelo fabricante, ou seja, o tempo entre a aplicação do *primer* e do selante, observando-se ainda as temperaturas mínimas e máximas de aplicação recomendadas.

Nos casos em que a aplicação do selante ultrapassar o tempo em aberto, o *primer* deverá ser reaplicado. Nessa situação, em função do tipo de selante e do *primer*, pode ser necessário lixar a super-

fície antes da sua reaplicação, devendo-se consultar previamente o fabricante (Beltrame e Loh, 2009). Os demais cuidados, ilustrados na Figura 8.14, devem ser rigorosamente adotados.



a) O *primer* deve ser aplicado uniformemente nas laterais da junta, em uma camada muito fina para que não escorra nem se acumule na superfície.



b) O *primer* deve ser aplicado internamente à junta, nas superfícies onde será aderido o selante. Deve ser aplicado após a proteção das bordas das placas cerâmicas, a fim de evitar manchas no revestimento.



c) Caso o tempo em aberto do *primer* ultrapassar o recomendado, e a junta não tiver sido selada, ele deverá ser retirado e reaplicado antes do selamento, pois tende a impedir a adesão do selante.

d) Caso o *primer* escorra sobre o revestimento cerâmico, deve ser removido imediatamente, pois pode causar manchas de difícil remoção.

FIGURA 8.14 Aplicação do *primer* no interior da abertura da junta.

8.6 Posicionamento do Limitador de profundidade

O limitador de profundidade deve ser inserido na abertura da junta e posicionado, a fim de garantir a profundidade do selante especificada em projeto (DIN 18540, 2006), como indica a Figura 8.15.

Alguns cuidados durante a introdução do limitador na abertura são fundamentais para que se obtenha seu correto posicionamento e se garanta o fator de forma do selante (Figuras 8.16 e Figura 8.17).

A ASTM C1193 (ASTM, 2009) recomenda que, durante a sua colocação na junta, devem ser tomados cuidados especiais no manuseio dos limitadores de células fechadas, não utilizando ferramentas pontiagudas para auxiliar na sua introdução (Figura 8.17). Se a película que envolve o limitador for danificada,

podem ser liberados gases que poderão acarretar danos ao selante ainda não curado (bolhas, por exemplo), comprometendo, com isso, sua capacidade de acomodação dos movimentos.

8.7 Aplicação do selante

É importante avaliar o melhor método para a aplicação do selante antes de iniciar o serviço. As temperaturas no momento da aplicação, os substratos, as ferramentas utilizadas e os profissionais envolvidos são variáveis que interferem no resultado dessa etapa, tanto na produtividade quanto na qualidade dos serviços.

Sobretudo, quanto às condições de temperatura, deve-se dar preferência a horários com temperaturas moderadas para aplicar o selante, quando a abertura da junta estará numa dimensão mediana, como foi observado no item 7.2.24 - Influência das condições de temperatura.

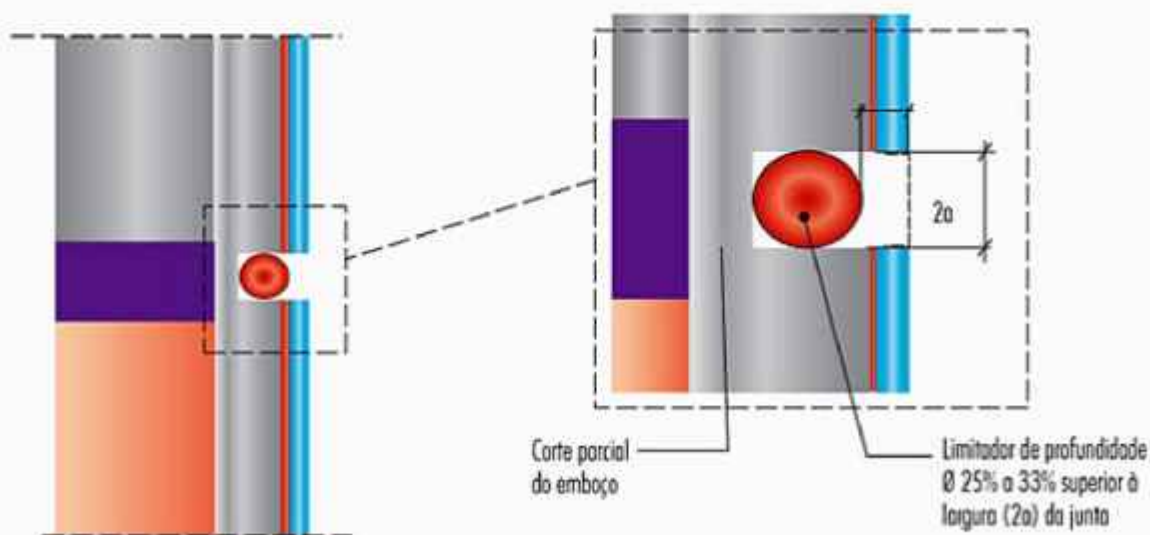


FIGURA 8.15 Correto posicionamento do limitador de profundidade: garantia da distância necessária ao fator de forma do selante.



a) Inserir firmemente o limitador de profundidade na abertura da junta.



(b) O limitador de profundidade deve ser introduzido no interior da junta regulando-se a distância da face externa, a fim de garantir o "fator de forma" do selante (relação largura: profundidade).



(c) Ao aplicar o selante, deve-se assegurar, com o auxílio de trena ou gabarito, a profundidade especificada em projeto (fator de forma).

FIGURA 8.16 Posicionamento do Limitador de Profundidade.



FIGURA 8.17 Nunca pressionar o limitador de profundidade com ferramenta pontiaguda.

Além disso, recomenda-se não aplicar os selantes quando a temperatura do substrato estiver abaixo de 5°C ou acima de 40°C, temperatura essa que pode ser excedida pelas placas cerâmicas de cor escura. No manual da Dow Corning (2005) é recomendado que o selamento da junta seja feito quando sua superfície estiver

fria e for passar por mínimas alterações de temperatura, tipicamente no fim da tarde.

A equipe que realizou o trabalho registrado por Beltrame e Loh (2009) propõe testes práticos qualitativos em obra, a fim de auxiliar na escolha do material e no controle da qualidade do selamento das juntas. Os testes avaliam o desempenho dos selantes quanto à sua facilidade de aplicação e de acabamento, o seu potencial de escorrimento

e o seu fio de corte. Alguns dos testes propostos por Beltrame e Loh (2009) são apresentados na Tabela 8.1.

A aplicação do selante deve ser feita com a pistola aplicadora e de maneira uniforme, para que não se formem bolhas de ar. O aplicador deve manter constantes o posicionamento e a velocidade de extrusão do selante (Beltrame e Loh, 2009), de modo a garantir o preenchimento total da junta, como pode ser visto na Figura 8.18.

TABELA 8.1 Testes práticos em obra para avaliação do desempenho do selante no momento da aplicação.

Característica avaliada	Teste prático	Condição necessária
Facilidade de Aplicação	A avaliação deve ser realizada aplicando-se o selante na abertura da junta, a fim de avaliar o esforço na extrusão. Utilizando uma mesma pistola aplicadora, diferentes aplicadores fazem a aplicação em uma junta em momentos distintos, tanto na temperatura mais baixa, quanto na mais alta prevista para o período de aplicação.	Selantes facilmente extrudados exigem menores tempo e esforço do aplicador. O selante deve apresentar facilidade de extrusão, tanto no inverno como no verão.
Facilidade de Acabamento	A avaliação deve ser realizada aplicando-se o selante na abertura da junta com a dimensão especificada para a obra. Utilizando o mesmo tipo de ferramenta, diferentes aplicadores fazem o acabamento da junta em momentos distintos, tanto na temperatura mais baixa quanto na mais alta prevista para o período de aplicação.	O produto deve apresentar boa consistência e não aderir às ferramentas no momento da aplicação. Deve também garantir o fator de forma e o contato contínuo com as laterais da junta, além de assegurar uma superfície lisa e uniforme.
Potencial de Escorrimento do Selante	Aplicar, sobre uma junta em fachada, uma grande quantidade de selante e verificar se há escorrimento ou formação de ondulações do produto, antes e depois da cura completa.	Quando aplicados na largura e na profundidade da junta e na temperatura durante a aplicação, o selante não deve apresentar escorrimento.

(Fonte: BELTRAME e LOH, 2009)

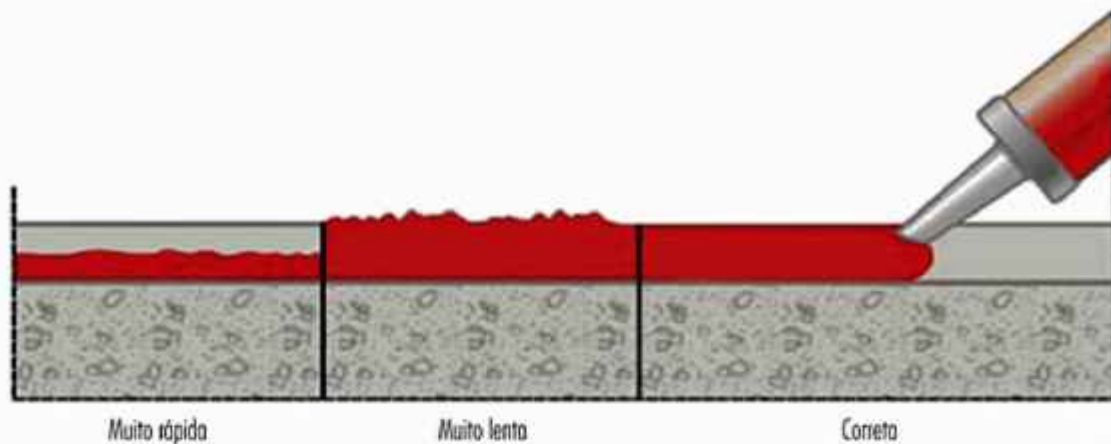


FIGURA 8.18 Influência da velocidade na aplicação do selante.

[Fonte: Beltrame e Loh, 2009].

Outras instruções e informação técnicas do fabricante devem ser criteriosamente observadas nos catálogos

dos produtos. Algumas recomendações para aplicação do selante são ilustradas na Figura 8.19.



(a) O bico plástico do tubo do selante deve ser cortado em ângulo de 45° na medida da junta, a fim de preencher completamente a abertura.



(b) O selante somente deve ser aplicado após se assegurar que a junta esteja completamente limpa e seca.

Recomenda-se que a aplicação ocorra imediatamente após a colocação do limitador de profundidade para prevenir a absorção de água por chuva ou condensação.

FIGURA 8.19 Aplicação do selante.

continua



(c) A aplicação deve ser uniforme, para que não se formem bolhas de ar.



(d) O aplicador deve manter constantes o posicionamento e a altura da pistola, fazendo-a deslizar sobre o percurso da junta em velocidade constante.

FIGURA 8.19 Aplicação do selante.

Quanto à utilização de produtos para auxiliar no acabamento do selante, Beltrame e Loh, (2009) recomendam que não devem ser utilizados sabão, detergente, água, óleos ou outros produtos, pois podem reagir com o selante e impedir a sua cura, formar bolhas, alterar a cor ou promover o seu craqueamento.

Sobre esse assunto, a DIN 18540 (1995) recomenda que as substâncias

usadas para o acabamento final do selante sejam previamente testadas quanto à possibilidade de causar mancharamento, impedir a adesão ou formar película sobre o selante, uma vez que no movimento da junta pode haver fissuração. Algumas instruções para acabamento do selante são elencadas na Figura 8.20.



(a) O acabamento da junta pode ser feito com espátula plástica, metálica ou tubo de PVC (Fonte: Beltrame e Loh, 2009).



(d) Caso o selante caia na superfície do revestimento, deve ser retirado imediatamente.



(b) Quando a opção para acabamento for um tubo de PVC, esse deverá ser girado sobre a junta, para que se retire o excesso de selante.



(e) Remover a fita adesiva logo após o acabamento.



(c) Caso existam falhas no selante, o aplicador poderá executar retoques manualmente, usando a ponta dos dedos, desde que esteja de luvas de borracha.



(f) A junta está pronta e deve ser preservada até a cura total do selante. Esse prazo de cura total é de aproximadamente 7 dias. O prazo de liberação final deve ser informado pelo fabricante do selante ou projetista.

FIGURA 8.20 Acabamento do selante.



Referências Bibliográficas

ABREU, M.M.M Modelação do comportamento de revestimentos cerâmicos. 2001. 194 p. Dissertação (mestrado). Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2001.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 224 3R-95: Joints in concrete structures. ACI Committee 224. S.I. 1995.

_____. ACI 504 R-90: Guide to sealing joints in concrete structures. ACI Committee 504. S.I. 1997.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI A108, A118 & A136. Specifications For The Installation Of Ceramic Tile. Anderson, 2008. 151p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C510-05a: Standard test method for staining and color change of single- or multicomponent joint sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2005. 2p.

_____. ASTM C661: Standard test method for indentation hardness of elastomeric-type sealants by means of a durometer. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2006. 3p.

_____. ASTM C719-93: Standard test method for adhesion and cohesion of elastomeric joint sealants under cyclic movement (hockman cycle). ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2005. 6p.

_____. ASTM C792-04: Standard test method for effects of heat aging on weight loss, cracking, and chalking of elastomeric sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2008. 3p.

_____. ASTM C793: Standard test method for effects of accelerated weathering on elastomeric joint sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2005. 4p.

_____. ASTM C794: Standard test method for adhesion-in-peel of elastomeric joint sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2006. 4p.

_____. ASTM C920: Standard specification for elastomeric joint sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2008. 3p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1193: Standard guide for use of joint sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2009. 32p.

_____. ASTM C1246: Standard Test Method for Effects of Heat Aging on Weight Loss, Cracking, and Chalking of Elastomeric Sealants After Cure, West Conshohocken, 2006. 3p.

_____. ASTM C1248: Standard test method for staining of porous substrate by joint sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2008. 4p.

_____. ASTM C1330-02: Standard specification for cylindrical sealant backing for use with cold liquid applied sealants. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2007. 2p.

_____. ASTM C1472: Standard guide for calculating movement and other effects when establishing sealant joint width. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2006. 21p.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc (ASHRAE). Ashrae Handbook - Fundamentals. Physiological principles for comfort and health. Atlanta, 1997.

ASIMOW, M. Introdução ao projeto: fundamentos do projeto de engenharia. Tradução de *Introduction to Design: fundamentals of engineering design*. Editora Mestre Jou. São Paulo, 1968. 171p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimento – Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13755: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 14081: Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas Cerâmica - Especificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15575 -2 : Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). DTU 44.1 : Étanchéité des joints de façade par mise en oeuvre de mastics Partie 1 : cahier des clauses techniques. Paris, 2002.

AUSTRALIAN STANDARDS. AS 3958.2. Ceramic tiles. Part 2: guide to the selection of a ceramic tiling system. Committee BD/44, Fixing of Ceramic Tiles. Australia, 1992.

BARROS, M.M.S.B. Racionalização dos métodos, processos e sistemas construtivos. Comissão de Pesquisa do Departamento de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

BARROS, M. M. B; SABBATINI, F. H. Projeto de revestimento de argamassa. Aula 05 do curso de Tecnologia de Produção de Revestimentos. Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. MBA USP. Departamento de Engenharia de construção Civil. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004. Não Publicado.

BELTRAME, F.R; LOH, K.(organizadoras). Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas: Boas práticas. HABITARE. Programa de Tecnologia de Habitação. Recomendações Técnicas Vol.5 – 64p. – ANTAC - Porto Alegre, 2009.

BERNETT, F.E. Effects of moisture expansion of installed quarry tile. Tile Council of America, Inc., Princeton, N.J, v.55, n.12, p. 1039 - 1042, 1976.

BORTOLUZZO, C.W. Qualidade em vedações, argamassas e revestimentos. 2000. 203p + anexos. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

BOWMAN, R. La necesidad de establecer un convenio sobre la dilatación por humedad para el análisis de fallos en los sistemas de colocación de azulejos. CSIRO Division of Building, Construction and Engineering; In: II CONGRESO NIUNETAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJOS Y DE PAVIMENTO CERÁMICO (Qualicer) Castellón, p 461 - 473, 1992.

BOWMAN, R. The importance of the kinetics of moisture expansion. CERÂMICA ACTA, n. 4 - 5, p. 37 - 60, 1993.

BOWMAN, R. G.; BANKS, P. J. The crucial need for computer modelling of tiling systems. In Qualicer 96, IV World Congress on Ceramic Tile Quality, p.617 - 634. Castellón (Espanha): Câmara Oficial de Comercio, Industria y Navegation, 1996.

BRITISH ADHESIVES AND SEALANTS ASSOCIATION. The BASA Guide to the ISO 11600 Classification of Sealants for Building Construction. Herts, 1999. Disponível em: < www.basa.uk.com > Acesso em: 23.mar.2006

BUILDING STANDARDS INSTITUTION. CP 212 - part 2 External ceramic wall tiling and mosaics. The council for codes of practice British Standards Institution. London, 1966.

_____. BS 5385 part 2: Wall and floor tiling: code of practice for the design and installation of external ceramic wall tiling and mosaics in normal conditions. Technical Committee ECB/5. BSI Standards London, 1978.

_____. BS 5385 part 2: Wall and floor tiling: code of practice for the design and installation of external ceramic wall tiling and mosaics in normal conditions. Technical Committee ECB/5. BSI Standards London, 1991.

_____. BS 5385 part 2: Wall and floor tiling: Design and installation of external ceramic and mosaic wall tiling in normal conditions. Code of practice. Technical Committee ECB/5. BSI Standards London, 2006.

_____. BS 6093: Design of joints and jointing in building construction. Guide. Technical Committee ECB/5. BSI Standards. London, 2006.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). Joint d'étanchéité em mastic entre elements de façade. Note de Information technique 124. 22p. Bruxelles, 1979.

CHAVES, A. L. O. Os polímeros na construção civil e seus subsídios. 1998. 210 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

CHEW, M.Y. Joint sealant for wall cladding. Polymer Testing. 9 p. Elsevier. School of Building and Real Estate, National University of Singapore. , Singapore, 1999.

CHIARI L.; OLIVEIRA, C.J.; MONTEIRO, C. S.; FORJAZ, N. V; BOSCHI, A.O. Expansão por Umidade. Parte: 1: O Fenômeno - Revista Cerâmica Industrial - Volume 1 - Número 1. Associação Brasileira de Cerâmica. São Paulo, 1996.

COGNARD, Phillippe. Sealants for construction part ii - technical characteristics of sealants. SpecialChem Adhesives . 2004. SpecialChem Adhesives. S.I. Disponível em: <<http://www.specialchem4adhesives.com>> Acesso em: 04 dec. 2004.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALIZATION - General rules for design and installation of ceramic tiling - CEN / TR 13548. Technical Report. Technical committee CEN/TC 67. S.I. 2004.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Projeto de racionalização das estruturas de concreto e revestimentos de argamassa associação brasileira de cimento portland. "diagnóstico concreto & argamassa. Porto Alegre". Disponível em: <<http://www.comunidade-da-construcao.com.br>>. Acesso em: 05 de dez. 2003.

CUNHA, A. J. P.; LIMA, N. A.; SOUZA, V. C. M. Acidentes estruturais na construção civil. 201p. Pini, vol. 1. São Paulo, 1996.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18515-1: Design and installation of tile or stone cladding. Berlin, 1998.

_____. DIN 18540: Sealing of exterior wall joints in building using joint sealants. Berlin, 2006.

DOW CORNING CORPORATION. Especificação de selante: fachada cortina de vidro de alto desempenho. Disponível em: <http://www.dowcorning.com>. Acesso em 22. Ago. 2005.

DUX, P. AND MULLINS, P. Mechanics of failure of rigid applied finishes to concrete surfaces. Role of Interfaces in Concrete, eds Dhir and Hewlett, 1999.

FALCÃO BAUER, R.J.; RAGO, F. Influência da expansão por umidade das placas cerâmicas no descolamento dos revestimentos. Revista Cerâmica Industrial, 5 Maio/Junho, 2000. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/> Acesso em 01.nov.2005.

FERME, L. F. G.; OLIVEIRA, P.S.F. A escolha correta garante a durabilidade. In: XII Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. IBI - Instituto Brasileiro De Impermeabilização. São Paulo, 2003.

FILHO NETO, A. Dicionário do engenheiro. In: Dicionário da Construção. Editora PINI. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.piniweb.com/e-livros/dicionario>>. Acesso em: 01 jul. 2005.

FIORITO, A.J.S.I. Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução. 221p. 1a.ed. Editora PINI. São Paulo, 1994.

FONTE, A.O. C.; FONTE, F. L. F.; CASTILLO, A. A. H. E.; PEDROSA, A.V. A. C. Características e parâmetros estruturais de edifícios de múltiplos andares em concreto armado construídos na cidade do Recife. In: Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2005. Volume XII - Projetos de Estruturas de Concreto. Trabalho 47CBC0059 - p. XII274-285. IBRACON. Recife, 2005.

FRANCO, L.S. O desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: vedações verticais. p. 95-112. Anais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

FRANCO, L.S.; BARROS, M.M.S.B.; SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de um método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavados. Rel.nº 20.081. Proposição do Método POLI-SICAL. Relatório Final. Convênio EPUSP/CPqDCC – SICAL. Projeto EPUSP/SICAL-1. São Paulo, 1994. 136p.

GOLDBERG, R.P. Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades. Technical Design Manual. USA: Laticrete International. 200p. 1998.

GORMAN, P. D. ET AL. Applying Liquid Sealants: An Applicator Training Program. Sealant Waterproofing and Restoration Institute (SWR Institute) 56 p. Kansas City, 2001.

GOULART, S.V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Núcleo de Pesquisa em Construção. UFSC. 2a Edição. 350 p. Florianópolis, 1998.

HUTCHINSON A. R, PAGLIUCA, A.; WOOLMAN, R. Sealing and resealing of joints in buildings, construction and building materials. (Special issue on polymers in construction), Vol. 9, No. 6, pp379-387, Joining Technology Research Centre, Oxford Brookes University, Oxford, UK. Oxford, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 11600: Building construction - jointing products. Classification and requirements for sealants. Technical committee TC 59 Building construction. 2002.

_____. ISO 6241: Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered. 10 p. Technical committee TC 59 Building construction, 1984.

_____. ISO 8339: Sealants: determination of tensile properties (extension to break) Technical committee TC 59 Building construction. 2005.

JUNGINGER, M. Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis. 2003. 139p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

KLOSOWSKI, J. M. Sealants in construction. 310p. Dow Corning Corporation. Marcel Dekker, Inc. New York. 1989.

LEDBETTER, S.R; HURLEY, S; SHEEHAN, A. Sealant joints in the external envelope of buildings: a guide to design, specification and construction. 179p. CIRIA R178. CIRIA. London, 1998.

MACIEL, L. L. O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada São Paulo. 1997. 372 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

MACLEAN, H.; SCOTT, J.S. The Penguin dictionary of building. The Penguin Dictionary of Civil Engineering. 517p. Penguin Books. 4ª Edição. London, 1995.

MARTIN, B. Joints in buildings. vii, 226 p.: ill. ; 31 cm. G. Godwin. London, 1977.

MEDEIROS, J.S. Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios. Tese (Doutorado). 457p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

MEDEIROS, J.S. Patologia dos revestimentos: fundamentos e prevenção. Curso organizado por Inovatec Consultores Associados. Apostila. São Paulo, 2006. 55p.

MENEZES, R. R., SEGADAES, A. M., FERREIRA, H. S. *et al.* Análise da expansão por umidade e absorção de água de pisos cerâmicos comerciais em relação à composição química e à quantidade estimada de fase vítrea. *Cerâmica*, Apr./June 2003, vol.49, nº.310, p.72-81. Disponível em: <http://www.scielo.br/> Acesso em: 05.Nov.2005. São Paulo, 2003.

MENEZES, R. R. ; CAMPOS, L. F. ; NEVES, G A ; FERREIRA, H C . Aspectos Fundamentais da Expansão por Umidade: Uma Revisão -Parte II - Cinética de Expansão e Determinação. *Cerâmica*, v. 52, p. 114-124. *Cerâmica*, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 573 p. Pini. São Paulo, 1994.

MONACELLI, F. Reforma geral das fachadas de um edifício revestido de pastilhas cerâmicas: acompanhamento das diversas etapas dos serviços. 102p. Monografia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MOREIRA, T. V. Análise da sensibilidade dinâmica de edifícios com estruturas esbeltas. 241 p. Tese (Doutorado), COPPE/UFRJ, D.Sc. Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 738 pag. Editora PINI. São Paulo, 1982.

OLIVEIRA, L.A.; MOREIRA, T.M. Estanqueidade à água e interface da estrutura com paredes de vedação. In: Seminário Habitação: Desempenho e Inovação Tecnológica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). São Paulo, 2005.

OXFORD DICTIONARY OF CHEMISTRY. 3th Edition. Oxford University Press, New York, 1996.

PALMER GB, Poolcopings failure factors. Palmer Technologies Pty Ltd, Austrália. Tile Today. Volume 12 - Issue No. 42 March 2004. Pag 12-16. Infotile. Australia, 2004.

PANEK, J. R.; COOK, J. P. Construction sealants and adhesives. Wiley series of practical construction guides. 3ª Edição. 375 p. New York, Chichester: Wiley, 1991.

PFEFFERMANN; O. Les fissures dans le construction conséquences de phénomènes physiques e naturels. Centre Scientifique et Technique de la Construction. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics. Série technique générale de la construction. nº 250. Octobre, 1968.

PORCAR, J.L. Manual guía técnica de los revestimientos y pavimentos cerámicos. Instituto de Tecnología Cerámica. Diputación de Castellón, 1987.

RIBEIRO, F. A.; TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Influence of parge coat surface finish on the performance of façade tilings. In: VII World Congress on Ceramic Tile Quality - Qualicer 2004. Castellón - Spain. Qualicer 2004 Papers group II. Castellón: ITC, 2004. V. 1.

ROCHA, C. C. A importância do delimitador de profundidade. Novos estudos evidenciam a necessidade de se dimensionar o delimitador de profundidade. In: Revista Recuperar. Pag. 9-11. Julho de Agosto de 1996. nº 12. Ano 03. Rio de Janeiro, 1996.

SABBATINI, F. H. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária. 298p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984.

SABBATINI, F.H.; BARROS, M.M.S.B. Metodologia para controle de qualidade e procedimentos para caracterização dos materiais constituintes das argamassas. São

Paulo. PCC/EPUSP, 1989. (Relatório Técnico 1A, Convênio EPUSP/ ENCOL; CPqDCC-EPUSP). Não publicado.

SABBATINI, F.H.; BARROS, M.M.S.B.; DIAS, A.M.N.D.; FLAIN, E.P. Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria. PROJETO EP/EN-6 - Desenvolvimento de métodos construtivos de revestimentos de piso. Convênio Escola Politécnica da USP e ENCOL São Paulo. PCC/EPUSP, 1990. (Relatório Técnico R6-06/90, Convênio EPUSP/ ENCOL; CPqDCC-EPUSP). Não publicado.

SABBATINI, F. H. As fissuras com origem na interação vedação estrutura. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: vedações verticais. Anais. p. 169-188 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SABBATINI, F.H. Construção crítica. Entrevista. In: *Téchne*. Edição 99. ano 13. Junho de 2005. Editora Pini. São Paulo, 2005.

SALVADORI, M. Loads. In: SALVADORI, M. Why buildings stand up: the strength of architecture. New York, 2002. W.W. Norton & Company, Inc. pg 43-125.

SARAIVA, A. G. Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada. 164p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 1998.

SELMO, S.M.S. Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios. 206p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J.F. Avaliação de uso de revestimentos cerâmicos em fachadas de edifícios residenciais multifamiliares. Estudo de caso: São Paulo, Zona Sul. 1994-1998. São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J.F.; BARROS, M. M. S. B.; SIMÕES, J. R. L. A escolha do revestimento de fachada de edifícios influenciada pela ocorrência de problemas patológicos? In: VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción (CONPAT) e X Congreso de Control de Calidad en la Construcción. Vol. II : Patología de la Construcción. Capítulo VIII: Acabados, Trabajo BR44, pp. VIII.1 - VIII.8. CONPAT 2005. Asunción, Paraguay, 2005.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo. Editora Pini. 194 p. São Paulo, 1989.

THOMAZ, E. As causas de fissuras - parte 1. Artigo Alvenaria. Revista *Téchne* n.36, p.44-49, set/out, 1998.

THOMAZ, E. Desempenho estrutural de edifícios e interface com vedações verticais. In: Seminário Habitação: Desempenho e Inovação Tecnológica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). São Paulo, 2005.

TILE COUNCIL OF AMÉRICA. Handbook for ceramic tile installation. 45th Edition. Tile Council of América, Inc.Anderson, 2008. 44p

TIMELLINI, G. ; PALMONARI, C. Le piastrelle di ceramica negli ambienti pubblici Manuale applicativo. Ceramic tiles of Italy. ASSOPIASTRELLE Associazione Nazionale dei Produttori di Piastrelle di Ceramica e di Materiali Refrattari. Italy. Edi.Cer S.p.A. Sassuolo, 2004.

TREMCO INCORPORATED - RPM Company. Fundamentals of Joint Design. ARCHITECTURAL PRESENTATIONS - Version 1.0 – Cleveland, 2000.

WOOLMAN, R.; HUTCHINSON, A. Resealing of buildings. A guide to good practice. Oxford Brookes University. 169p. Oxford, 1994.

Weber Quartzolit: há mais de 70 anos com você

A Weber Quartzolit está presente desde 1937 no mercado brasileiro de argamassas industrializadas com uma cobertura geográfica em constante expansão o que possibilita a chegada de seus produtos em todo o país.

Em 1972, lançou seu produto de maior sucesso, o Cimentcola Quartzolit, argamassa colante para assentamento de placas cerâmicas, que representou uma inovação para o mercado da época. Sempre inovando, a empresa investe em segmentação, trazendo para seus consumidores novidades para otimização das obras como argamassas que assentam e rejuntam simultaneamente, de secagem rápida, sem poeira e impermeáveis.

Em meados de 2.000, mais uma novidade agradou o setor da construção civil brasileira. A Weber Quartzolit inovou o sistema de revestimento de fachadas ao desenvolver o sistema de monocapa, reavivando as vantagens técnicas e estéticas dos revestimentos minerais.

Líder absoluta no mercado de argamassas prontas para a construção civil é reconhecida pela qualidade dos seus produtos entre todos os que atuam neste segmento.

Outra marca que a Weber Quartzolit vem deixando ao longo de sua existência é a de apoiar e incentivar a formação profissional de aplicadores, técnicos e de todos os profissionais do setor da construção civil, como por exemplo, a colaboração para a edição deste livro o qual esperamos que seja de grande valia a todos que o consultarem e um incentivo às autoras a continuarem seus trabalhos de pesquisa.

Esta publicação tem como objetivo apresentar e discutir a tecnologia de produção de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas, visando contribuir para um melhor entendimento deste detalhe construtivo e para o estabelecimento da boa prática de execução.

O livro, dividido em oito capítulos ricamente ilustrados, traz informações a respeito do comportamento dos revestimentos de fachadas, que leva à necessidade de utilização de juntas de movimentação; dos requisitos de desempenho das juntas e propriedades dos seus constituintes para atendimento das exigências; das causas e métodos de prevenção de falhas nas juntas e dos métodos de ensaios para controle da qualidade dos materiais utilizados no selamento. Um dos capítulos indica o caminho do processo de projeto para a produção das juntas de movimentação e o último capítulo traz uma sequência, passo-a-passo, com orientações para execução das juntas, as atividades que antecedem a execução, os cuidados a serem tomados durante o revestimento até a aplicação do selante e os principais controles de produção.

A obra está fundamentada em uma investigação da bibliografia, nacional e internacional, acessível sobre o assunto e em um levantamento de campo em que se resgatou a experiência das autoras no desenvolvimento e aplicação de projetos de revestimentos, além de entrevistas com projetistas e visitas em obras.



08.2062 – JUMO

ISBN 978-85-7266-225-3

