

Normalização de argamassas colantes para assentamento e argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas

Roberto José Falcão Bauer

Centro Tecnológico L.A. Falcão Bauer, São Paulo, SP
robertobauer@falcaobauer.com.br

Fabiola Rago

Centro Tecnológico L.A. Falcão Bauer, São Paulo, SP
frago@falcaobauer.com.br

Recebido em 07/09/2001; aceito em 14/12/2001

Este artigo trata sobre a normalização de argamassas colantes para assentamento e de argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas. Foi realizado um estudo experimental nas argamassas para rejuntamento para se determinar o índice de consistência e da retenção de água, a resistência à compressão, a resistência à tração na flexão, a absorção de água por capilaridade e a permeabilidade do material, realizando-se o cálculo dos desvios relativos. Também foi realizado estudo experimental para a determinação da flexibilidade das argamassas, a fim de se determinar a deformação transversal e a tração na flexão, comparando-se com padrões estabelecidos pelos projetos de Norma brasileira e européia (EN 12002). Como resultado, constatou-se que a normalização das argamassas para rejuntamento merece entrar em sua fase final de análise e que o estudo da flexibilidade tanto para as argamassas para rejuntamento como para as argamassas colantes, deve ser amplamente discutido no meio técnico por meio de ensaios interlaboratoriais e discussões técnicas a respeito.

Palavras-chave: flexibilidade, argamassa colante, argamassa de rejuntamento.

This paper discusses the standardization of adhesives for tiles and grouts for ceramic tiles. An experimental study was conducted on grouts for tiles in order to determine consistency and water retention rates, flexural and compressive strength, water absorption by capillary and the permeability of the material, calculating the relative deviation. An experimental study was also carried out to determine grout elasticity in order to determine transverse deformation and flexural strength, comparing to patterns established by Brazilian and European standards (EN 12002). As a result it was found that the standardization of adhesives for tiles should enter its final analysis stage and that the study of elasticity for both adhesives and grouts for tiles should be widely discussed both by interlaboratorial essays as well as in technical meetings.

Keywords: elasticity, adhesives for tiles, grouts for tiles.

Introdução

As Normas que tratam da caracterização dos produtos argamassas colantes e argamassas de rejuntamento encontram-se atualmente em discussão em Comissões de Estudo do CB-18, Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT.

Argamassa colante

As normas de caracterização das argamassas colantes industrializadas, válidas a partir de junho de 1998, estão sendo revisadas. Os pontos mais discutidos são as definições dos tipos de argamassas colantes, bem como a introdução da definição das propriedades: tempo em aberto, resistência de aderência à tração e ao deslizamento. Na tabela de requisitos foram sugeridas alterações apenas nos valores de deslizamento, que passariam de menores do que 0,5 mm para menores do

que 0,7 mm, uma vez que a placa cerâmica a ser empregada neste ensaio de deslizamento seria substituída por porcelanato, com uma massa individual por corpo de prova maior do que a empregada anteriormente.

A Tabela 1 demonstra como as argamassas colantes são classificadas e avaliadas, com base na proposta da comissão de estudos. A proposta para definição dos tipos de argamassa também é apresentada a seguir.

Argamassa colante industrializada – tipo I: Argamassa que atende aos requisitos da Tabela 1 e com características de resistência às solicitações mecânicas e termohigrométricas típicas de revestimentos em ambientes internos, quando se utiliza placas cerâmicas com absorção de água $\geq 3,0\%$.

Argamassa colante industrializada – tipo II: Argamassa que atende às exigências da Tabela 1 e com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos em ambientes

internos e externos, sujeitos a ciclos de variação termohigrométrica e à ação do vento.

Argamassa colante industrializada – tipo III: Argamassa colante industrializada que atende aos requisitos da Tabela 1 e que apresenta aderência superior entre as interfaces em relação às argamassas dos tipos I e II.

Argamassa colante industrializada – tipo -E: Argamassa colante industrializada dos tipos I, II ou III que atende aos seus respectivos requisitos, com tempo em aberto estendido.

Argamassa para rejuntamento

Como não existe normalização nacional para as argamassas para rejuntamento, há cerca de seis anos foi motivada a formação de um grupo técnico para propor e discutir ensaios de caracterização deste material, baseados na normalização americana (ANSI). Em 1998 foi aberta uma Comissão de Estudos dentro da ABNT para a elaboração do projeto de Norma 18:406.05-001 - A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas e pastilhas de porcelana - Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2001).

Composto da especificação e de Anexos de A a I com a descrição dos métodos de ensaio, após vários estudos em laboratórios e três interlaboratoriais, este projeto de Norma está em fase final de elaboração. Sua consulta pública e possível aprovação para publicação está prevista para este ano.

A Tabela 2 apresenta os valores sugeridos pela comissão de estudos para a especificação das argamassas para rejuntamento.

Flexibilidade

No desenvolvimento e na aplicação das argamassas colantes e das argamassas para rejuntamento, um assunto muito polêmico é a flexibilidade destas argamassas, uma vez que muitas delas são comercialmente denominadas *flexíveis*. Na elaboração do projeto de Norma de argamassa para rejuntamento, este assunto é tratado como módulo de deformação, embora haja muitas controvérsias a respeito de sua determinação. O meio técnico sabe da necessidade da capacidade de deformação das argamassas, mas tem dificuldade de avaliar esta propriedade.

Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Argamassa colante industrializada			
			I	II	III	E
Tempo em aberto	NBR 14083 (ABNT, 1998b)	Min	≥ 15	≥ 20	≥ 20	
Resistência de aderência à tração a 28 dias em:						Argamassas do tipo I, II, III com tempo em aberto estendido em no mínimo 10 min. do especificado nesta tabela
• cura normal	NBR 14084 (ABNT, 1998c)	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
• cura submersa		MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
• cura em estufa		Mpa	-	≥ 0,5	≥ 1,0	
Deslizamento	NBR 14085 ABNT, 1998d)	Mm	≤ 0,7	≤ 0,7	≤ 0,7	

Notas:

1. Quando a argamassa for específica para revestimento horizontal, não há necessidade do ensaio de deslizamento
2. Deve ser determinada a porcentagem de material retido na peneira 0,84 mm, bem como a massa específica aparente em estado solto, segundo métodos de ensaio preconizados pela NBR 14086, embora não sejam especificados limites.

Tabela 1 - Requisitos de argamassa colante propostos na revisão da NBR 14081 (ABNT, 1998a)

REQUISITOS MÍNIMOS	TIPO I	TIPO II
Retenção de água após 10 minutos (mm)	≤ 85	≤ 70
Retração linear após 7 dias (mm/m)	≤ 2,00	≤ 2,00
Resistência à compressão aos 14 dias (Mpa)	≥ 8,0	≥ 10,0
Resistência à tração na flexão aos 07 dias (MPa)	≥ 2,0	≥ 3,0
Módulo de deformação aos 14 dias (Gpa)	-	≤ 10,0
Coefficiente de capilaridade aos 28 dias (g/cm ²)	≤ 0,60	≤ 0,30
Permeabilidade aos 28 dias (cm ³)	≤ 2,0	≤ 1,0

Tabela 2 - Tipos de argamassas de rejuntamento. e requisitos mínimos

Objetivo

O objetivo deste trabalho é fornecer dados para a conclusão do projeto de Norma de argamassa para rejuntamento e propor estudos abrangentes para futuramente podermos incluir o ensaio de flexibilidade nas Normas de argamassa colante e argamassa para rejuntamento.

A seguir são apresentados os estudos sobre a normalização das argamassas para rejuntamento e os estudos propostos para o ensaio de determinação da flexibilidade de argamassas colantes e para rejuntamento.

Normalização das argamassas para rejuntamento

A comissão de estudo de argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas e pastilhas de porcelana foi aberta há aproximadamente 3 anos. Nos três anos precedentes a sua abertura foram realizados estudos de suas propriedades conforme métodos de ensaio descritos na Norma americana ANSI A-118.6 (ANSI, 1992).

Nos Anais do II SBTA (FALCÃO BAUER; RAGO, 1997) foram publicados resultados de ensaios baseados na ANSI e que deram origem aos métodos de ensaio do projeto de Norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001). São eles:

- (a) Anexo A – Preparo da mistura - procedimento;
- (b) Anexo B – Determinação do índice de consistência;
- (c) Anexo C – Determinação da retenção de água;
- (d) Anexo D – Determinação da retração linear;
- (e) Anexo E – Determinação da resistência à compressão;
- (f) Anexo F – Determinação da resistência à tração na flexão;
- (g) Anexo G – Determinação do módulo de deformação estático;
- (h) Anexo H – Determinação da absorção de água por capilaridade;
- (i) Anexo I – Determinação da permeabilidade.

No âmbito da comissão de estudos, os métodos de ensaio descritos na ANSI foram adaptados e foram acrescentados alguns outros métodos que pudessem resultar em dados coerentes. Os métodos acrescentados foram a determinação do módulo de deformação e a determinação da absorção de água por capilaridade.

Resultados do estudo realizado e apresentado no III SBTA (FALCÃO BAUER; RAGO, 1999) demonstraram ser o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade mais indicativo do que o ensaio de absorção de água proposto pela ANSI.

Na continuação dos estudos no âmbito da comissão estão sendo discutidos também os ensaios para argamassas para rejuntamento, conforme o projeto de Norma EN TC67/WG3, composto de 5 partes. Basicamente, todos os ensaios são realizados em corpos de prova de dimensões

40 mm x 40 mm x 160 mm e idade de 28 dias. São relatados aqui apenas os empregados neste estudo, comparando-se com a metodologia já existente no projeto de Norma brasileira:

(a) TC67/WG3 DOC n.º: 343 - *Grouts for tiles – Determination of flexural and compressive strength (CEN, 1997b)*.

(b) TC67/WG3 DOC n.º: 344 - *Grouts for tiles – Determination of water absorption (CEN, 1997c)*.

Como os ensaios conforme a ANSI são realizados em idades variadas, neste estudo todos os ensaios foram realizados com 28 dias pelas duas metodologias para que se conseguisse uma comparação efetiva dos resultados.

Estudo experimental realizado para as argamassas para rejuntamento

Sete amostras de argamassa para rejuntamento (A.R.) foram ensaiadas pelos métodos de ensaios descritos a seguir. As A.R. foram identificadas conforme a Tabela 3.

Amostra	Identificação
1	Rejunte branco
2	Rejunte branco junta fina com polímero
3	Rejunte preto
4	Rejunte preto junta fina com polímero
5	Rejunte preto junta larga com polímero
6	Rejunte branco junta larga com polímero
7	Rejunte branco

Tabela 3 - Identificação das amostras

Determinação da consistência e da retenção de água

De acordo com o anexo B do projeto de Norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001), o índice de consistência para todas as amostras ensaiadas foi determinado empregando-se a quantidade de água indicada pelo fabricante para o preparo da mistura. A retenção de água foi determinada de acordo com o anexo C, apenas para a caracterização das amostras ensaiadas. Para este ensaio, um recipiente com 43 mm de diâmetro interno foi preenchido com a argamassa e vertido sobre um papel filtro. O manchamento provocado pela água é determinado com o auxílio de um paquímetro.

Determinação da resistência à compressão

Anexo E do projeto de Norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001)

Foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 48 horas na fôrma) sob condições de umidade relativa de $(60 \pm 5)\%$ e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o período de cura, os corpos de prova foram rompidos e suas cargas registradas. Os valores individuais de resistência em MPa foram obtidos dividindo-se a carga pela área de aplicação da força, isto é, uma circunferência com 50 mm de diâmetro. Após o cálculo da média das resistências individuais, foi calculado o desvio relativo máximo, e se este fosse maior do que 6%, uma nova média era calculada descartando-se até 3 corpos de prova.

Projeto europeu EN TC67/WG3 DOC n°. 343 (CEN, 1997b)

Foram moldados três corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 24 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60\pm 5)\%$ e temperatura de $(23\pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o término do período de cura, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à tração na flexão (com aplicação de carga no centro do corpo de prova). As duas metades dos corpos de prova resultantes do ensaio de tração na flexão foram submetidas ao ensaio de compressão. Esta compressão foi realizada com o auxílio de pastilhas metálicas de 40 mm x 40 mm, que foram posicionadas de forma a facear as superfícies de duas laterais opostas de cada metade dos corpos de prova. Após a ruptura, a resistência à compressão foi calculada através da seguinte equação:

$$R_c = \frac{F}{1600} (\text{MPa}) \quad (1)$$

Onde:

R_c = Resistência à compressão (MPa)

F = carga de ruptura (N)

$1600 \text{ mm}^2 = 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ (área pastilhas metálicas)

Determinação da resistência à tração na flexão

Anexo F do projeto de Norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001)

Foram moldados quatro corpos de prova prismáticos de 25 mm x 25 mm x 280 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 48 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60\pm 5)\%$ e temperatura de $(23\pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o período de cura, os corpos de prova foram posicionados sobre um vão livre de (230 ± 2) mm e uma carga contínua foi aplicada no centro da barra (Figura 1), com taxa de aplicação de $(4,5\pm 0,5)$ mm/min.

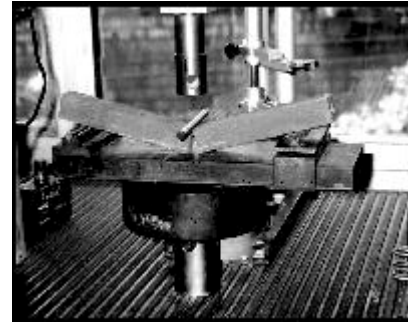


Figura 1 - Ensaio de tração na flexão em corpos de prova de 25mm x 25mm x 280mm

A resistência à tração na flexão foi calculada através da seguinte equação:

$$T = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} (\text{MPa}) \quad (2)$$

Onde:

T = resistência à tração na flexão (MPa)

P = carga de ruptura (N)

L = distância entre cutelos de apoio (mm)

b = largura do corpo de prova (mm)

d = altura do corpo de prova (mm)

Projeto europeu EN TC67/WG3 DOC n°. 343 (CEN, 1997b)

Foram moldados três corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 24 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60\pm 5)\%$ e temperatura de $(23\pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o término do período de cura, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração na flexão. Os corpos de prova foram posicionados sobre um vão livre de 100 mm e uma carga contínua foi aplicada no centro da barra (Figura 2).

A resistência à tração na flexão foi calculada através da seguinte equação:

$$R_f = \frac{1,5 \times F \times L}{b^3} (\text{MPa}) \quad (3)$$

Onde:

R_f = resistência à tração na flexão (MPa)

F = carga de ruptura (N)

L = tamanho do vão (mm)

b = comprimento da menor aresta do prisma (mm)



Figura 2 - Ensaio de tração na flexão em corpos de prova de 40mm x 40mm x 160mm

Determinação da absorção de água por capilaridade

Anexo H do projeto de Norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001)

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 48 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60 \pm 5)\%$ e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o término da cura, os corpos de prova foram secos à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, até massa constante. Em seguida, foram resfriados à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, determinando-se sua massa seca.

Os corpos de prova foram colocados sobre uma lâmina de água de (5 ± 1) mm, apoiados em suportes que permitem o contato da superfície inferior do corpo de prova com a água. Em intervalos de 60 minutos determinavam-se suas massas, até o intervalo de 300 minutos.

A absorção de água por capilaridade em cada período foi calculada através da seguinte equação:

$$C = \frac{m_i - m_s}{A} (\text{g/cm}^2) \quad (4)$$

Onde:

C = Absorção de água por capilaridade (g/cm^2)

m_s = massa seca (g)

m_i = massa após imersão no intervalo i (g)

A = Área (cm^2)

Projeto europeu prEN TC67/WG3 DOC n°. 344 (CEN, 1997c)

De acordo com este projeto de Norma, foram moldados seis corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 80 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 24 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60 \pm 5)\%$ e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Após 21 dias de cura, foi aplicada nas faces laterais dos corpos de prova uma camada de silicone.

Após o término do período de cura a massa seca dos corpos de prova foi determinada. Eles foram colocados sobre uma

lâmina de água de 5 a 10 mm, apoiados em suportes que permitem o contato da superfície inferior do corpo de prova com a água (Figura 3). Após 30 e 240 minutos de imersão os corpos de prova foram pesados novamente.

A absorção de água por capilaridade em cada intervalo foi calculada através da seguinte equação:

$$C = m_t - m_d (\text{g}) \quad (5)$$

Onde:

C = Absorção de água por capilaridade (g)

m_t = massa seca (g)

m_d = massa após imersão no intervalo i (g)

A absorção de água é calculada através da média de no mínimo três determinações.



Figura 3 - Corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 80 mm imersos em água

Determinação da permeabilidade

De acordo com o anexo I do projeto de Norma 18:406.05-001, foram moldados três corpos de prova cúbicos de 50 mm x 50 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 48 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60 \pm 5)\%$ e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o período de cura foram fixadas sobre os prismas colunas de vidro com diâmetro interno de base (28 ± 2) mm, preenchida com água até a altura de 130 mm (Figura 4). As leituras de permeabilidade foram feitas aos 15, 30, 60, 120, 180 e 240 minutos (desde o momento inicial da colocação da água).

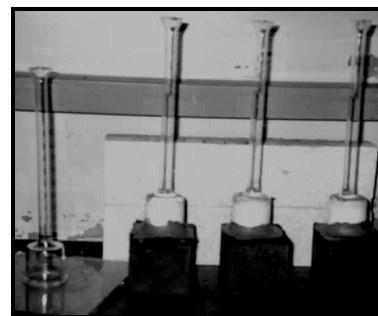


Figura 4 - Coluna d'água sobre corpos de prova de rejunte

Resultados obtidos

Determinação do índice de consistência e da retenção de água

As médias das três medidas dos diâmetros das argamassas de rejuntamento ensaiadas são apresentadas na Tabela 4.

Determinação da resistência à compressão

As médias dos resultados de resistência à compressão obtidos nos dois métodos de ensaio, com exclusão de três

de corpos de prova em cada método, são apresentadas na Tabela 5 e na Figura 5.

Determinação da resistência à tração na flexão

As médias dos resultados de resistência à tração na flexão obtidas nos dois métodos de ensaio, com a exclusão de um corpo de prova em cada ensaio, são apresentadas na Tabela 6 e na Figura 6.

Amostra	Consistência (mm)	Relação água/argamassas de rejuntamento.	Retenção de água aos 10 minutos (mm)
1	219	0,285	48
2	253	0,320	57
3	240	0,285	50
4	237	0,340	58
5	200	0,210	43
6	232	0,198	43
7	271	0,260	94

Tabela 4 - Índices de consistência e relações água/argamassas de rejuntamento

AMOSTRA	PROJETO BRASILEIRO		PROJETO EUROPEU	
	Tensão (MPa)	Desvio (%)	Tensão (MPa)	Desvio (%)
1	11,9	0,8	8,6	0,0
2*	12,1	0,8	13,5	2,2
3	11,3	1,8	9,4	4,3
4*	9,2	2,2	7,8	3,8
5*	9,6	1,0	8,2	1,2
6*	12,8	4,7	11,4	3,5
7	15,4	1,3	13,5	2,2

Nota: * amostras que contêm polímero.

Tabela 5 - Resultados de resistência à compressão

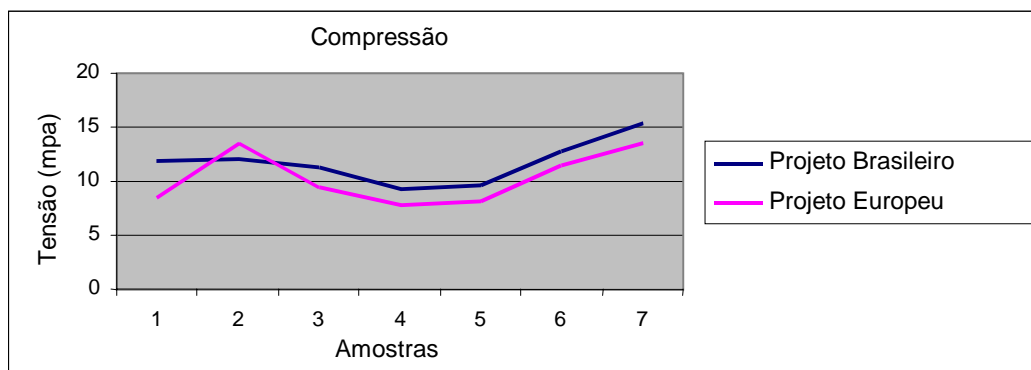


Figura 5 - Comparação entre os métodos de determinação da resistência à compressão

AMOSTRA	PROJETO BRASILEIRO		PROJETO EUROPEU	
	Tensão (MPa)	Desvio (%)	Tensão (MPa)	Desvio (%)
1	4,55	2,4	3,31	2,7
2	5,30	11,5	4,07	2,0
3	2,76	13,4	4,48	0,4
4	3,52	10,2	2,87	3,8
5	3,71	5,9	3,38	6,2
6	3,62	9,9	2,81	10,3
7	3,83	6,3	4,66	8,2

Tabela 6 - Média dos resultados de resistência à tração na flexão

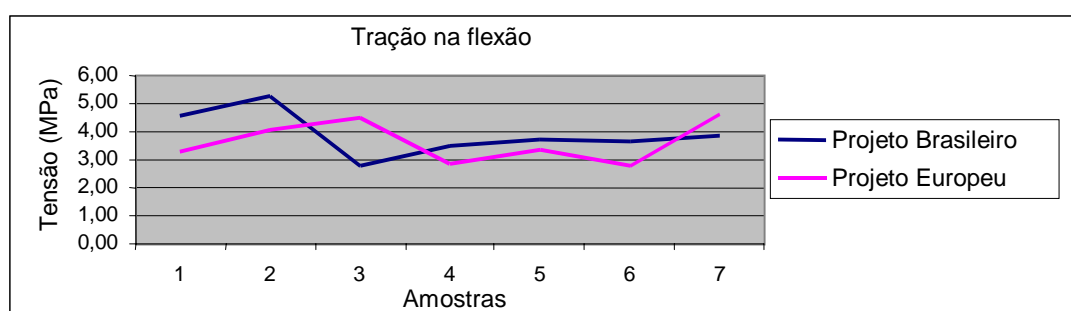


Figura 6 - Comparação entre os métodos de determinação de resistência à tração na flexão

Determinação da absorção de água por capilaridade

Como as unidades dos resultados de absorção de água obtidos nos dois métodos de ensaio são diferentes, os resultados obtidos no método europeu foram transformados em g/cm^2 , dividindo-se o resultado obtido (em gramas) pela área do corpo de prova em contato com a lâmina de água, isto é, 40 mm x 40 mm. As médias dos resultados obtidos nos dois métodos de ensaio (com exclusão de um corpo de prova para o projeto brasileiro e de três corpos de prova para o projeto europeu) são apresentadas na Tabela 7 e na Figura 7.

Determinação da permeabilidade

As médias dos resultados obtidos na determinação da permeabilidade em cada intervalo de tempo são apresentadas na Tabela 8 e na Figura 8.

Cálculo dos desvios relativos

Os desvios relativos entre os corpos de prova de cada traço ensaiado foram calculados a fim de se discutir a confiabilidade no método de ensaio. A Figura 9 apresenta os desvios relativos obtidos em cada metodologia.

AMOSTRA	PROJETO BRASILEIRO		PROJETO EUROPEU	
	Absorção (g/cm^2)	Desvio (%)	Absorção (g/cm^2)	Desvio (%)
1	0,255	3,9	0,102	7,8
2	0,499	1,0	0,243	7,8
3	0,229	0,0	0,081	8,6
4	0,535	0,9	0,511	7,0
5	0,181	1,1	0,079	5,1
6	0,166	1,8	0,094	0,0
7	0,548	1,5	0,160	9,4

Tabela 7 - Médias dos resultados de absorção de água por capilaridade

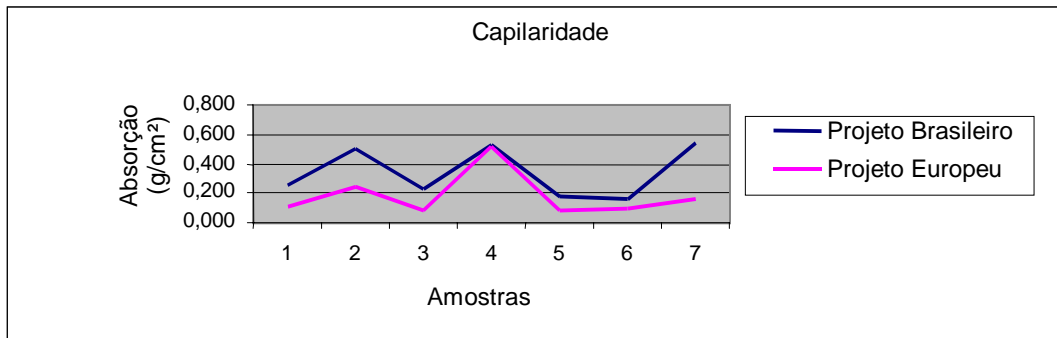


Figura 7 - Comparação entre os métodos de determinação da absorção de água por capilaridade

Amostra	15min	30min	45min	60min	90min	120min	180min	240min
1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9
2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,9	0,9	1,4	1,9
3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0
4	0,2	0,5	0,8	1,2	1,4	1,7	1,8	2,3
5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
7	2,1	2,4	2,9	3,0	3,2	3,4	3,5	3,5

Tabela 8 - Média dos resultados de permeabilidade (cm³)

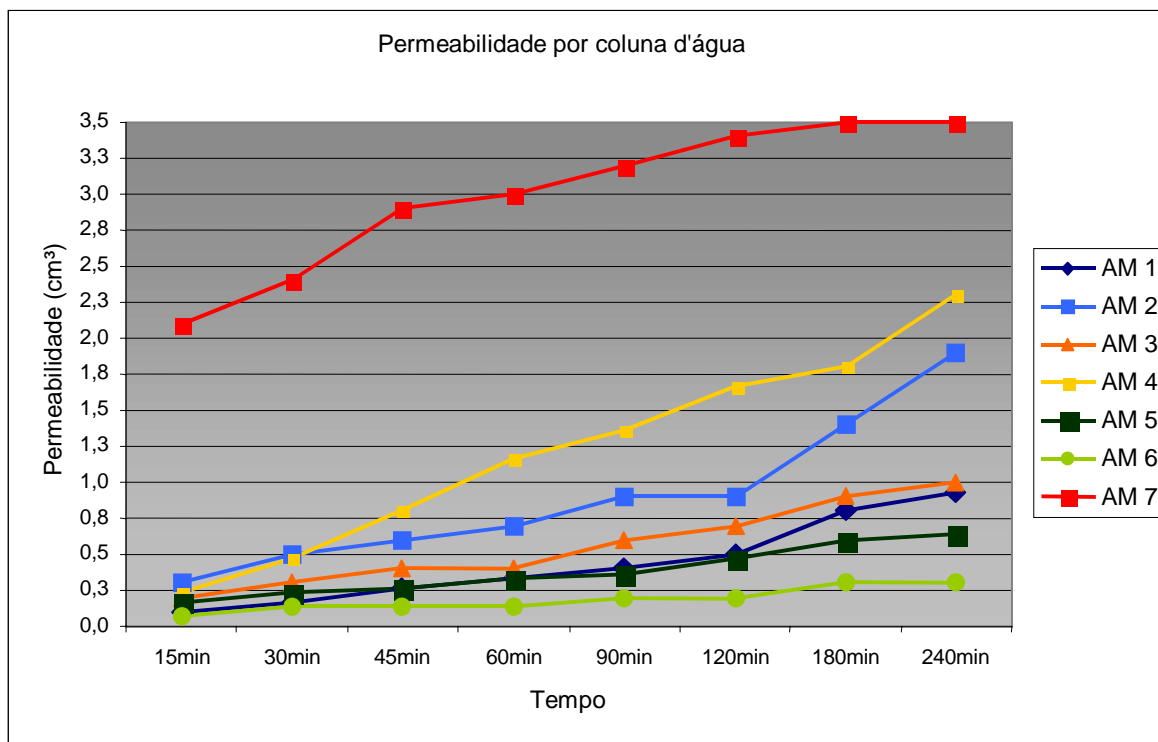


Figura 8 - Média dos resultados de permeabilidade

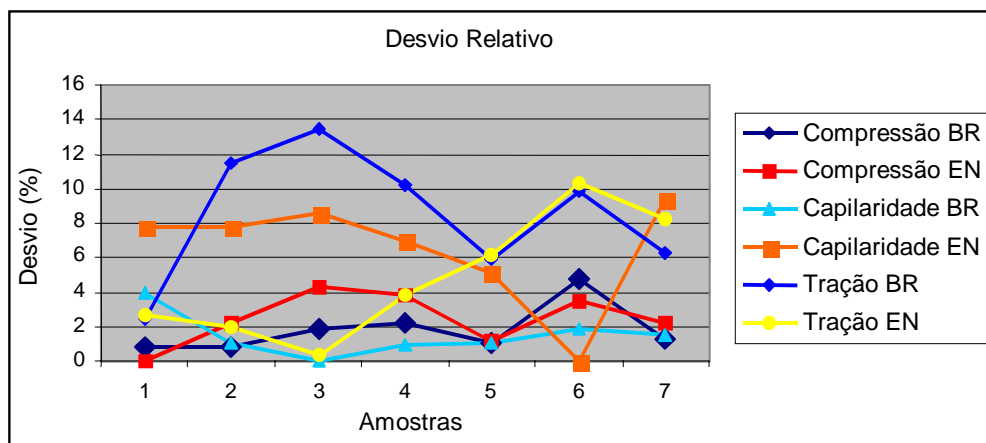


Figura 9 - Desvios relativos

Análise dos resultados das argamassas para rejuntamento

Observa-se nos métodos de ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, que os valores de tensão obtidos com os corpos de prova do projeto de Norma europeu estão abaixo dos obtidos com os corpos de prova do projeto de Norma brasileira. Com exceção do traço número 2 que apresentou variação nos resultados, o perfil de comportamento de resistência das amostras ensaiadas mostrou-se coerente para ambos os métodos.

Os menores resultados obtidos no ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade no método do projeto de Norma europeia se justifica pelo fato de que os corpos de prova são vedados lateralmente com silicone, sendo que a absorção de água se dá realmente só pelo fundo do corpo de prova.

Constata-se que argamassas que apresentam maiores resultados de permeabilidade também apresentam maiores resultados de absorção de água por capilaridade. Esta ocorrência foi observada notadamente no método de ensaio de absorção de água por capilaridade pelo projeto de Norma brasileira.

Flexibilidade das argamassas

A capacidade das argamassas absorverem as deformações das estruturas em que estão aplicadas é um assunto largamente discutido ao longo dos últimos anos. Ultimamente busca-se uma determinação numérica desta propriedade, pois os produtos comercializados começam a receber a classificação de flexíveis.

As Normas estrangeiras abordam várias metodologias para a determinação desta capacidade de absorver deformações em argamassas colantes para assentamento de placas cerâmicas e em argamassas para rejuntamento, ora sob o nome de módulo de deformação, ora sob o nome de flexibilidade. Em resumo, os métodos de ensaio

de um modo geral determinam as deformações em função das cargas de resistência aplicadas.

Entre estes métodos pode-se citar alguns que, inclusive, já foram aplicados e os seus resultados apresentados por alguns autores nos Simpósios Brasileiros de Tecnologia das Argamassas.

No I SBTA, Bucher e Nakakura (1995) apresentaram resultados de três métodos diferentes especificados:

(a) DIN 18156 – Parte 3, segundo o qual duas placas cerâmicas são aderidas às faces opostas de dois corpos de prova de concreto de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm. O conjunto então é submetido à compressão até a ruptura, por cisalhamento, da camada adesiva, medindo-se a deformação entre os prismas.

(b) ANSI A 118.1 (ANSI, 1992), segundo o qual duas metades de uma placa cerâmica são aderidas entre si com argamassa colante pelos tardezes. O conjunto então é submetido à compressão até a ruptura por cisalhamento.

(c) Projeto de Norma CEN/TC67/prEN/WG3, atual EN 12002 (CEN, 1997a), que especifica a determinação por ensaio de tração na flexão em corpos-de-prova de dimensões 280 mm x 45 mm x 3 mm.

Conforme estes autores, o método que se apresentou mais preciso foi o do projeto de Norma europeia, embora ele não avalie o cisalhamento na interface placa cerâmica/argamassa colante.

No II SBTA, o método prescrito no UEAtc – Technician Guide for the Assessment of Ceramic Tile Adhesives foi avaliado por Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997).

Este método consiste em determinar a resistência à flexão de uma camada de 3 mm de argamassa assentada sobre uma placa de poliestireno expandido. Os resultados de força são multiplicados pelos resultados da deformação e divididos por mil, obtendo-se assim o fator F. Quanto maior este fator, maior a capacidade de deformação da argamassa.

No III SBTA, Bucher e Nakakura (1999) apresentaram vários resultados de ensaios de tração na flexão e

deformação em corpos de prova, conforme descrito na atual EN 12002 (CEN, 1997a), obtendo, embora com muita variação entre os corpos de prova, resultados de deformação geralmente crescentes em formulações com crescentes quantidades de aditivos.

Embora a existência de alguns estudos sobre o assunto, não existe normalização nacional para a determinação da propriedade discutida. O projeto de Norma de argamassas para rejuntamento está sendo amplamente discutido e prevê o ensaio de módulo de deformação estática em corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro; método adaptado do ensaio para corpos de prova de concreto, conforme NBR 8522 (ABNT, 1984), embora atualmente este método esteja sendo avaliado quanto à sua eficiência em realmente determinar a capacidade de deformação das argamassas, ensaios aplicados a argamassas comercializadas.

Este estudo buscou avaliar os métodos de determinação da tração na flexão e, através de sua carga de ruptura *versus* deformação obtida, encontrar alguma diferenciação entre as argamassas comercializadas.

Estudo experimental para determinação da flexibilidade

Foram ensaiadas oito amostras de argamassas colantes e sete amostras de argamassas para rejuntamento (em ambos os casos, havia tipos comuns e tipos mais aditivados) encontradas normalmente no comércio, conforme três metodologias, na idade de 28 dias.

Foram empregadas as seguintes metodologias:

- determinação da tração na flexão em corpos de prova prismáticos de dimensões 25 mm x 25 mm x 280 mm – conforme metodologia da ANSI, constante no Anexo F do projeto de Norma 18:406.05-001 para argamassas de rejuntamento;
- determinação da tração na flexão em corpos de prova prismáticos de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm – conforme metodologia do projeto prENTC67/WG3 para argamassas de rejuntamento;
- determinação da deformação transversal em barras de dimensões 280 mm x 45 mm x 3 mm – conforme EN 12002 para argamassas colantes e argamassas de rejuntamento.

Os resultados foram avaliados quanto à carga de ruptura em relação à deformação obtida, desejando-se diferenciar a flexibilidade de diferentes argamassas colante e de rejuntamento.

Determinação da deformação transversal em barras conforme EN 12002

Baseado no procedimento descrito na Norma EN 12002 (CEN, 1997a)– (Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts), com algumas adaptações para a realidade nacional, foram moldados quatro corpos de prova de 3 mm x 45 mm x 280 mm. Os corpos de prova foram curados por 28 dias,

permanecendo os primeiros 14 dias protegidos do meio externo por um plástico e os demais sob condições de umidade relativa de $(60\pm 5)\%$ e temperatura de $(23\pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o término do período de cura, os corpos de prova foram submetidos à aplicação de uma força transversal no centro dos mesmos, com velocidade de 2 mm/min até que fosse observada a primeira fissura no corpo de prova, ou sua ruptura. Quando isso ocorria, era então anotada a carga de ruptura em Newton (N) e a deformação em milímetros (mm) (Figura 10). Como não ocorriam fissuras perceptíveis antes do momento em que era registrada a carga de ruptura pela prensa, os resultados de carga e de deformação registrados foram sempre os da ruptura.

Devido à variação nos resultados dos traços ensaiados, foi descartado em cada traço o corpo de prova que mais se distanciava dos resultados médios.

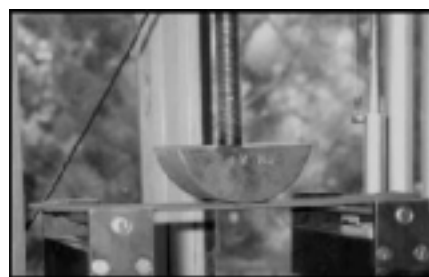


Figura 10 - Ensaio de tração na flexão em corpos de prova de 3mm x 45mm x 280mm

Determinação da tração na flexão conforme procedimento do projeto de Norma brasileira de argamassas para rejuntamento

De acordo com o anexo F do projeto de Norma 18:406.05-001, foram moldados quatro corpos de prova prismáticos de 25 mm x 25 mm x 250 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 48 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60\pm 5)\%$ e temperatura de $(23\pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o período de cura os corpos de prova foram posicionados sobre um vão livre de (230 ± 2) mm e uma carga foi aplicada no centro da barra (Figura 1). A carga de ruptura e a deformação obtida foram registradas.

Determinação da tração na flexão conforme procedimento do projeto de Norma europeia de argamassas para rejuntamento

De acordo com projeto europeu prEN TC67/WG3 DOC n°. 343 (1997b), foram moldados três corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm, curados por 28 dias (permanecendo as primeiras 24 horas na fôrma), sob condições de umidade relativa de $(60\pm 5)\%$ e temperatura de $(23\pm 2)^\circ\text{C}$.

Após o término do período de cura, os corpos de prova foram submetidos à tração com aplicação de uma carga

no centro da barra (Figura 2). A carga de ruptura e a deformação obtidas foram registradas.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados são apresentados sob forma de resistência à tração na flexão (MPa), deformação no momento da ruptura (mm) e tensão *versus* deformação (MPa/mm). A resistência à tração na flexão em todos os casos foi calculada conforme a equação 6.

$$TF = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \tag{6}$$

Onde:

TF = Tração na flexão

P = Carga de ruptura (N)

L = Distância entre apoios (mm)

b = Largura do corpo de prova (mm)

d = Altura do corpo de prova (mm)

Resultados das argamassas colantes ensaiadas

Para argamassas colantes não foram realizados os ensaios com corpos de prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm devido à grande seção dos mesmos, não coerente com o uso destas argamassas. A moldagem nestas fôrmas resultaria em corpos de prova muito porosos.

Os resultados obtidos nos ensaios para as argamassas colantes são apresentados na Tabela 9. Na Tabela 10 constam os valores de tensão *versus* deformação.

Resultados das argamassas de rejuntamento ensaiadas

Os resultados obtidos nos ensaios para as argamassas de rejuntamento são apresentados na Tabela 11. Na Tabela 12 constam os valores de tensão *versus* deformação.

Amostra nº	EN 12002		Projeto de Norma Brasileira	
	Tensão (MPa)	Deformação (mm)	Tensão (MPa)	Deformação (mm)
01	2,93	1,05	-	-
02	3,04	1,70	-	-
03	2,78	1,76	-	-
04	7,88	1,02	3,51	0,51
05	11,87	1,27	4,27	0,46
06	13,00	1,17	4,31	0,44
07	15,34	1,29	4,46	0,34
08	11,53	1,59	5,38	0,47

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão (MPa) e deformação (mm)

Amostra nº	Tensão (MPa) <i>versus</i> deformação (mm), em (MPa/mm)	
	EN 12002	Projeto de Norma Brasileira
01	2,79	-
02	1,79	-
03	1,58	-
04	7,73	6,89
05	9,34	9,28
06	11,11	9,79
07	11,89	13,10
08	7,25	11,45

Tabela 10 - Valores de tensão *versus* deformação (MPa/mm)

Amostra n ^o	EN 12002		Projeto de Norma Brasileira		Projeto de Norma Européia	
	Tensão(MPa)	Deformação (mm)	Tensão(MPa)	Deformação (mm)	Tensão(MPa)	Deformação (mm)
01	4,84	1,17	4,55	0,47	3,18	0,66
02*	4,67	2,28	5,14	0,81	3,73	0,97
03	4,56	1,72	2,96	0,34	4,16	0,81
04*	1,27	1,62	3,52	0,80	3,15	0,82
05*	3,76	2,61	3,71	0,57	3,97	0,81
06*	5,30	2,19	4,04	0,64	3,30	0,84
07	6,90	1,27	3,83	0,31	4,31	0,53

* Amostras com polímeros com função de melhorar a flexibilidade, conforme indicado pelos fabricantes

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão (MPa) e deformação (mm)

Amostra n ^o	Tensão (MPa) versus deformação (mm), em (MPa/mm)		
	EN 12002	Projeto de Norma Brasileira	Projeto de Norma Européia
01	4,14	9,67	4,82
02*	2,05	6,34	3,85
03	2,65	8,72	5,14
04*	0,79	4,40	3,85
05*	1,44	6,50	4,90
06*	2,42	6,32	3,93
07	5,44	12,35	8,14

* Amostras com polímero com função de melhorar a flexibilidade, conforme indicado pelos fabricantes

Tabela 12 - Valores de tensão *versus* deformação (MPa/mm)

Análise dos resultados de flexibilidade

A análise dos resultados foi realizada com base nos valores de tensão obtidos da carga de ruptura à tração na flexão, divididos pela deformação obtida no momento da ruptura.

Observa-se que, quanto menor este valor de tensão/deformação, maior a capacidade de deformação a argamassa apresenta, isto é, para argamassas de mesma resistência à tração na flexão, a que apresentar maior resultado de deformação resultará em um valor de tensão/deformação menor e poderá ser considerada com maior capacidade de deformação ou com maior flexibilidade.

São realizadas as seguintes análises para as argamassas colantes e para rejuntamento.

Argamassas colantes

Para uma comparação entre os resultados devemos analisar os dados da Tabela 10 e da Figura 11, onde são considerados os valores de tensão/deformação.

Os dois métodos empregados apresentaram resultados semelhantes.

As amostras 1 a 3 ensaiadas pelo método da EN 12002, apresentam um acréscimo no teor de polímero nesta ordem, o que pode ser demonstrado pela redução do valor de tensão/deformação, nesta mesma ordem.

As amostras de número 4 a 8 são originárias de outro fabricante, portanto, devem apresentar teores de cimento superiores, devido aos altos valores de resistência à tração na flexão encontrados. A amostra 8 apresenta comportamento diferente das demais, pois foi modificado o tipo de polímero.

Argamassas para rejuntamento

Ao analisarmos a Tabela 12 e a Figura 12, observa-se que dos três métodos de ensaio empregados, os corpos de prova conforme dimensões da EN 12002 e do projeto de Norma brasileira são os que apresentam melhores correlações, diferenciando as argamassas com maiores teores de polímeros. Nos corpos de prova conforme projeto de Norma européia esta relação é menos evidente.

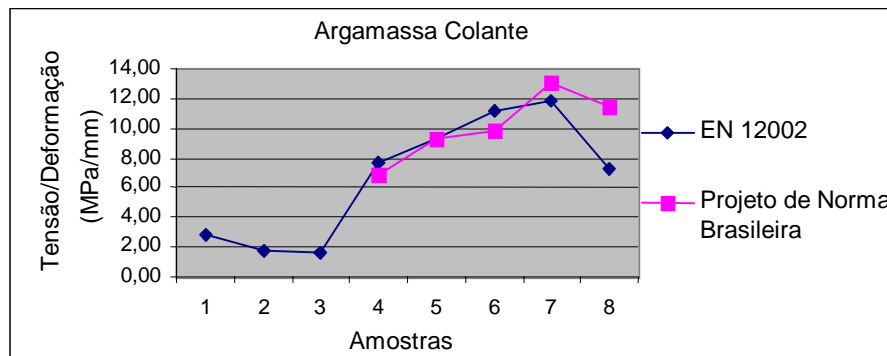


Figura 11 - Tensão/deformação das amostras de argamassa colante

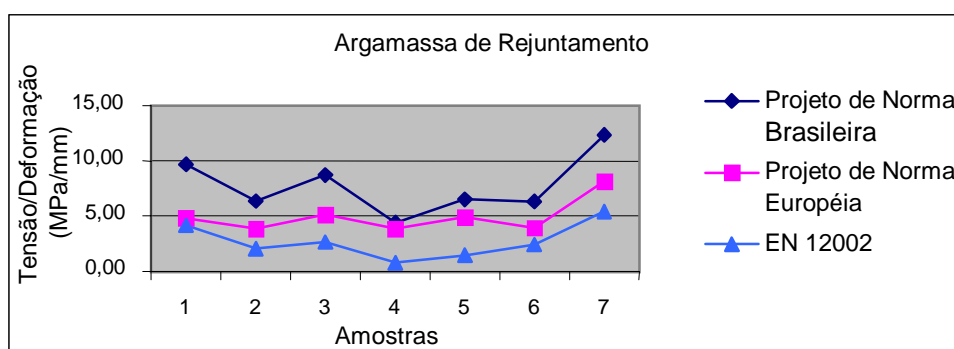


Figura 12 - Tensão/deformação das amostras de argamassas para rejuntamento

Considerações finais

Com base nos dados preliminares obtidos apresentados neste trabalho, acredita-se que os métodos de ensaio propostos atualmente na normalização das argamassas para rejuntamento possam ser mantidos, permitindo assim, que o projeto de Norma seja brevemente publicado pela ABNT e que o estudo da flexibilidade, tanto para as argamassas para rejuntamento, como para as argamassas colantes, deva ser amplamente discutido no meio técnico, com base em maior número de ensaios de pesquisa, interlaboratoriais e discussões técnicas a respeito.

A flexibilidade das argamassas varia com os teores de cimento e com os teores de polímeros inseridos, apresentando comportamentos diferentes com base nestas variações, portanto, a combinação cimento *versus* polímero deve ser muito bem avaliada.

Lembramos ainda que sempre convém a avaliação da compatibilidade entre a mistura cimento e areia com os aditivos empregados, visando obter um melhor desempenho do produto formulado (custo/benefício).

Sugere-se para argamassas colantes, que o método da determinação da flexibilidade proposto na EN 12002 seja incluído nas Normas brasileiras a fim de se determinar a sua capacidade de deformação, especificando-se uma

resistência à tração na flexão, em MPa mínima e uma taxa de tensão/deformação (MPa/mm) máxima.

Quanto às argamassas para rejuntamento, os estudos iniciais demonstraram serem os métodos de determinação da tração na flexão adequados. Os corpos de prova empregados no atual projeto de Norma brasileira também demonstraram uma diferenciação entre as argamassas, portanto este mesmo método poderia ser adotado para a determinação da flexibilidade, com a inclusão da apresentação dos valores de tensão/deformação (MPa/mm) obtidos durante o ensaio proposto no anexo F do projeto de Norma (determinação da resistência à tração na flexão).

Portanto, recomendamos que, na especificação para os produtos em questão, sejam inseridos valores mínimos para a resistência à tração na flexão e também valores máximos para a taxa tensão/deformação.

Nos demais ensaios realizados nas argamassas para rejuntamento pode ser observada uma pequena diferença entre os resultados dos métodos de ensaio do projeto de Norma brasileira e européia. Observa-se que, de forma geral, os desvios relativos obtidos nos métodos de ensaio de projeto de Norma brasileira são menores do que os obtidos no projeto de Norma européia.

Embora a quantidade de ensaios comparativos não seja totalmente suficiente para uma análise estatística, constata-se que as duas metodologias apresentam coerência entre seus resultados.

Considerando-se os números dos ensaios realizados em argamassas para rejuntamento desde 1995 por laboratórios sob forma de estudos e interlaboratoriais durante o andamento da comissão, recomenda-se que, uma vez que já existe um arquivo de resultados dos ensaios realizados com as metodologias contidas no projeto de Norma brasileira e as mesmas se mostraram executáveis e coerentes, sejam realizados mais alguns ensaios com as argamassas atualmente comercializadas com estas metodologias, para que possam ser especificados valores limites a serem exigidos para os diferentes tipos de argamassas para rejuntamento à base de cimento Portland.

Referências bibliográficas

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI). **ANSI A-118-6**: Ceramic tile grouts: specifications. New York, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama: tensão-deformação. Rio de Janeiro, 1984. 9 p.

_____. **NBR 14081**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: especificação. Rio de Janeiro, 1998a.

_____. **NBR 14083**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 1998b.

_____. **NBR 14084**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: determinação da resistência de aderência. Rio de Janeiro, 1998c.

_____. **NBR 14085**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: determinação de deslizamento. Rio de Janeiro, 1998d.

_____. **Projeto de Norma 18:406.05-001**: Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas e pastilhas de porcelana - Requisitos e métodos de ensaio: anexos A-I. Rio de Janeiro, 2001.

AKIAMA, S.; MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Flexibilidade de argamassas adesivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA; ANTAC, 1997. p.233-245.

BUCHER, H.R.E.; NAKAKURA, E.H. A capacidade de deformação de argamassas colantes a base de cimento Portland. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG; ANTAC, 1995. p.167-176.

_____. Argamassas colantes flexíveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC; ANTAC, 1999. p. 417-424.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **GEN/EN 12002**: Adhesives for tiles: Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts. 1997a. 6p.

_____. **PrEN TC67/WG3 343**: Grouts for Tiles: determination of flexural and compressive strength. 1997b.

_____. **PrEN TC67/WG3 344**: Grouts for Tiles: Determination of water absorption. 1997c.

FALCÃO BAUER, R.J.; RAGO, F. Argamassa de rejuntamento à base de cimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA; ANTAC, 1997. p. 233-245.

_____. Determinação da absorção de água em argamassas de rejuntamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC; ANTAC, 1999. p. 417-424.

Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe técnica do Centro Tecnológico de Controle da Qualidade L. A. Falcão Bauer, nas pessoas de Valdênio O. Luciano, Jozenilton Costa Souza e Leandro Augusto pela realização dos ensaios, e à técnica Patrícia Helena S. Costa pelas inúmeras discussões na busca dos conhecimentos a respeito do assunto em questão. Agradecem também às empresas que forneceram as amostras de argamassa para a realização deste estudo.