

# Influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência entre argamassa colante e placa cerâmica

## Yêda Vieira Póvoas

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP  
yeda.povoas@poli.usp.br

## Vanderley Moacyr John

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP  
john@poli.usp.br

## Maria Alba Cincotto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP  
maria.cincotto@poli.usp.br

Recebido em 15/09/2001; aceito em 11/01/2002

O tempo em aberto é considerado um dos principais requisitos de desempenho de argamassas colantes. Um dos fatores mais importantes que o influencia é a perda de água. Ela ocorre tanto por sucção pela base quanto por evaporação para o meio ambiente. Esta perda de água diminui progressivamente a resistência de aderência do revestimento cerâmico. Convencionou-se que o tempo em aberto é aquele que tem resistência de aderência de 0,5 MPa.

Esta pesquisa tem como objetivo estudar a influência da perda de água da argamassa, por evaporação, na resistência de aderência entre a argamassa colante e a placa cerâmica. Para tanto é determinada a resistência de aderência considerando diferentes intervalos de tempo de assentamento da placa cerâmica após a aplicação da argamassa, segundo um procedimento de ensaio que elimina a perda de água por sucção.

A argamassa é espalhada sobre uma placa de vidro de modo a impedir a sucção. Passados os intervalos de tempo especificados para o assentamento da placa cerâmica, conforme o ensaio de tempo em aberto, o conjunto é curado durante 28 dias a 23 °C de temperatura e 65 % de umidade relativa. Após esse período, o conjunto argamassa/placa cerâmica é colado sobre o substrato-padrão, pela superfície anteriormente em contato com o vidro, para posterior arrancamento, observando-se a tensão e a forma de ruptura.

Os resultados mostram que a variação na resistência de aderência das placas cerâmicas pode ser atribuída à evaporação, o que significa que ao realizar um ensaio simples de perda de água por evaporação, pode-se determinar a resistência de aderência da argamassa colante.

**Palavras-chave:** argamassa colante, tempo em aberto, resistência de aderência, perda de água por evaporação.

Open time is one of the main characteristics of dry-set mortars. Water loss by both evaporation and suction is an important factor that influences its performance, since it may cause an adhesion failure after short ageing. It was determined that open time has a tensile adhesion strength of 0,5 MPa.

This research aims to study the influence of water loss by evaporation in the tensile adhesion strength between dry-set mortar and ceramic tile. A test of tensile adhesion strength is performed, considering different intervals of time of the ceramic tile application on the mortar, according to a procedure that eliminates water loss by suction.

The mortar is spread onto a glass plate, avoiding water loss by suction. After specified intervals of time for the application of ceramic tile according to the open time test, the system is cured for 28 days at 23 °C and 65% relative humidity. After being cured, the dry-set mortar/ceramic tile system is glued onto the concrete slab by the surface previously in contact with the glass, for later pull-out. The tension and form of rupture are observed.

The results show the effect of water loss by evaporation on the tensile adhesion strength, and the analysis indicates that a simple test of water loss by evaporation can determine the tensile adhesion strength of the dry-set mortar.

**Keywords:** dry-set mortar, open time, tensile adhesion strength, water loss by evaporation.

## Introdução

Antes da introdução da argamassa colante no mercado, o assentamento de placas cerâmicas era feito com argamassa convencional misturada em obra, sem aditivos. Antes da introdução da argamassa colante, a solução usual para o assentamento do revestimento cerâmico envolvia a aplicação de uma camada de argamassa convencional com uma média de 20 mm de espessura (Figura 1a) (FIORITO, 1994). A perda de água era grande, tanto para o substrato, por sucção, quanto para o meio ambiente, por evaporação, principalmente em áreas ensolaradas e sujeitas à ação do vento. Détriché et al. (1985) verificaram que quanto maior a espessura da argamassa sem aditivo, maior seria o tempo para perder toda a água por evaporação, porque o teor total de água livre é maior. Para diminuir a perda por sucção costumava-se imergir a placa cerâmica em água, assentando-a úmida. Assim, a elevada espessura e a umidade presente na placa cerâmica garantiam a existência de água para hidratação do cimento da argamassa de assentamento, compensando as elevadas perdas de água desta para a base para o meio ambiente e para a placa cerâmica.

Mais recentemente foi introduzida a prática de adição de polímeros retentores de água que permitiram diminuir a espessura de argamassa aplicada e eliminar a necessidade de molhamento da placa cerâmica ou da base de assentamento, exceto nas áreas de grande incidência de vento e sol, onde a base deve ser pré-umedecida. Dentre as formulações mais comuns empregadas na indústria, se destacam o HEC (hidroxietil celulose) e o HEMC (metil hidroxietil celulose).

A argamassa colante, espalhada com a desempenadeira denteada, forma cordões com até 6 mm de espessura, espaçados entre si (Figura 1b). Durante o assentamento, a cerâmica comprime os cordões de argamassa, aumentando a área de aderência entre cerâmica-argamassa-base.

A aplicação de camadas de argamassas desta espessura, sem o polímero retentor de água, é tecnicamente impossível, pois em poucos minutos a argamassa perde trabalhabilidade e seca completamente, tornando a aplicação difícil e a adesão nula (PÓVOAS, 1999).

A capacidade de retenção de água destes polímeros é tal que, no ensaio de retenção de água convencional, a retenção de água (MR-4, recomendado pela RILEM<sup>1</sup>) é aproximadamente total para teores tão baixos como 0,5 % da massa de cimento de HEMC (SILVA et al., 2000).

Diferentes tipos e teores de aditivos retentores vão propiciar a produção de diferentes argamassas, tanto em termos de capacidade de retenção de água como em trabalhabilidade. No entanto, devido à perda de água tanto por sucção pela base quanto por evaporação para o meio

ambiente, a capacidade de adesão no estado fresco e, conseqüentemente, a resistência de aderência no estado endurecido são reduzidas progressivamente com o decorrer do tempo após o espalhamento. Para avaliar esta peculiaridade foi introduzido o conceito de tempo em aberto para argamassas colantes.

Assim, tempo em aberto é definido pela NBR 14081 (ABNT, 1998a) como o intervalo de tempo após o espalhamento da argamassa sobre o substrato, em que o assentamento da placa cerâmica em condições padronizadas resulta em aderência média, maior ou igual a 0,5 MPa.

Além do tempo em aberto, considera-se como requisitos fundamentais ao desempenho das argamassas colantes, a retenção de água, o deslizamento, a resistência de aderência, a trabalhabilidade e a plasticidade (FU, CHUNG, 1996; HEROLD, 2000; SILVA et al., 2000; PÓVOAS, 1999).

Para melhorar o desempenho no estado endurecido da argamassa colante são adicionados aditivos vinílicos, acrílicos ou estirenos. Póvoas (1999) realizou um estudo onde observou que a diferença existente entre a resistência de aderência de uma argamassa com um retentor de água HEC (hidroxietil celulose) e outra com EVA (co-polímero poli (acetato de vinila)-etileno) é de aproximadamente 50 %, ressaltando que a argamassa sem polímeros não apresentou resistência de aderência a revestimentos cerâmicos.

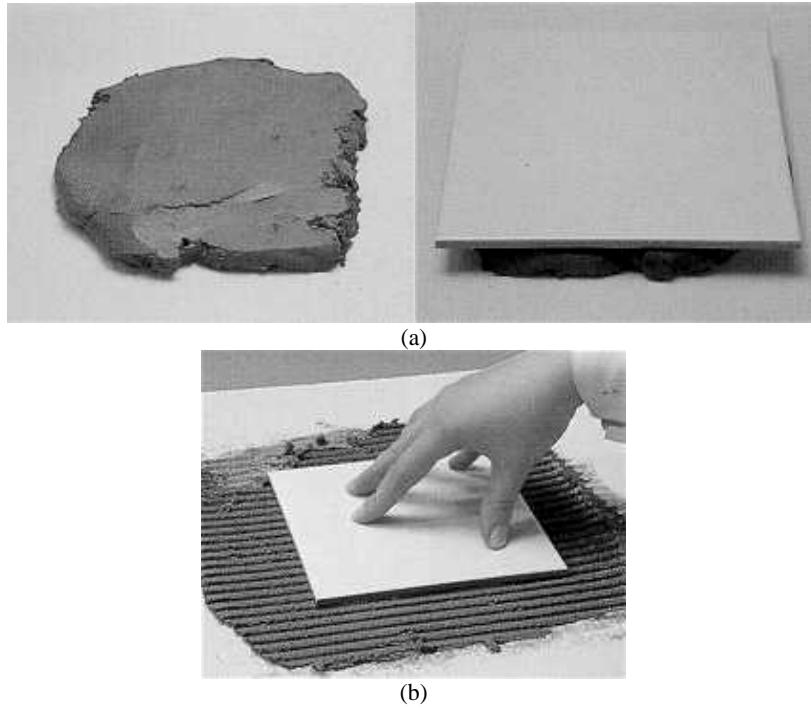
## Características dos aditivos HEC, HEMC e EVA

Derivados da celulose (Figura 2), o HEC (Figura 3) e o HEMC (Figura 4) são solúveis em água devido à eterificação de alguns grupos hidroxila da celulose através da reação do óxido de etileno com a álcali-celulose. Os éteres incorporados ao grupo hidroxila evitam a formação das pontes de hidrogênio, promovendo a solubilização do aditivo (TURNER, 1963).

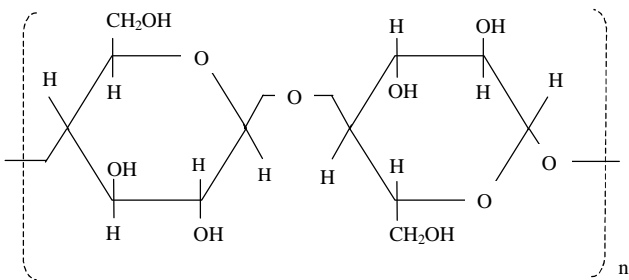
Estes aditivos possuem uma ampla faixa de viscosidade, dependendo da porcentagem de sólidos utilizada. No caso do HEC, uma viscosidade indicada para a utilização na argamassa colante é de 100.000 mPa.s, com grau de polimerização de 7600. Quanto maior o grau de polimerização, maior a viscosidade.

O EVA é um copolímero formado pelos monômeros etileno e acetato de vinila (Figura 5). O pó redispersível é produzido a partir da secagem da emulsão (WACKER, 1996). Adicionando água ao aditivo, o protetor coloidal dissolve, e o pó produz dispersões estáveis com propriedades semelhantes àquelas da dispersão original.

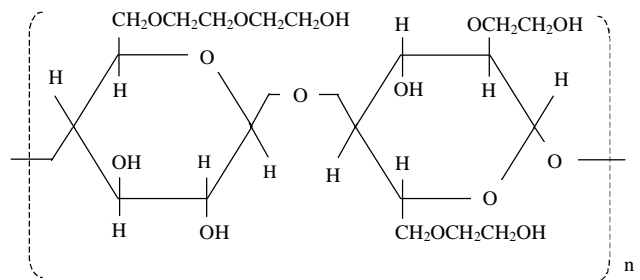
<sup>1</sup> RILEM. Water-retention capacity of mortars (MR-4, 1982). RILEM. Technical recommendations for the testing and use of construction materials. London: E & FN SPON, 1994.



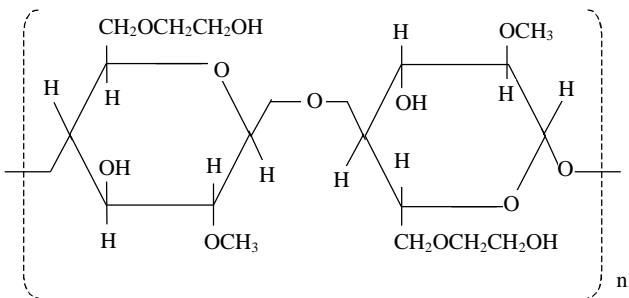
**Figura 1** - Espessura e técnicas de aplicação: (a) com argamassa convencional; (b) com argamassa colante (WACKER, 1996)



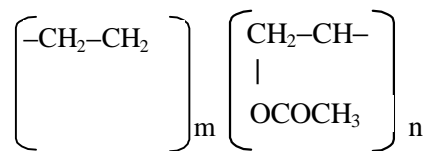
**Figura 2** - Estrutura molecular da celulose



**Figura 3** - Estrutura molecular do HEC



**Figura 4** - Estrutura molecular do HEMC



**Figura 5** - Estrutura molecular do EVA

## Aspectos relativos ao tempo em aberto

### Formação de película

Até o momento, a teoria mais difundida para justificar a progressiva redução da capacidade de aderência com o decorrer do tempo é a da formação de película superficial. Algumas vezes, a formação superficial é explicada pela migração do polímero orgânico, em conjunto com as bolhas de ar incorporado, para a superfície (BAUER, 1995; FIORITO, 1994), mas não existem estudos empíricos publicados que comprovem esta teoria. Ohama (1987) demonstrou a formação do filme polimérico no interior dos poros de argamassas durante o processo de hidratação do cimento e propôs um modelo mais detalhado (

Figura 6a). O modelo proposto por Ohama (1987) para a formação de película foi dividido em três etapas:

(a) ao misturar a argamassa com a água, as partículas do polímero ficam uniformemente dispersas na pasta de cimento; há o início da hidratação, que acarreta a formação do gel de cimento e a saturação da água com hidróxido de cálcio; as partículas do polímero começam a se depositar na superfície da mistura de gel de cimento/cimento anidro; há a reação do hidróxido de cálcio da fase aquosa com a sílica do agregado, formando uma camada de silicato de cálcio.<sup>2</sup>

(b) com o desenvolvimento da estrutura do gel de cimento, as partículas do polímero ficam gradualmente confinadas nos poros capilares; há o progresso da hidratação do cimento, reduzindo a água dos capilares e a floculação das partículas do polímero, formando uma camada de estrutura empacotada sobre a superfície da mistura de gel de cimento/cimento anidro (

(c) Figura 6a), aderindo simultaneamente à camada de silicato de cálcio formada sobre o agregado;

(d) com o consumo da água pela hidratação do cimento há a coalescência da camada de estrutura empacotada formada pelas partículas do polímero, formando uma película; a película aglomera os compostos hidratados do cimento formando uma rede monolítica.

Este modelo não foi pensado para explicar o tempo em aberto, mas para explicar a ação de aditivos poliméricos em matrizes de cimento. Este modelo provavelmente não se aplica ao tempo em aberto, salientando-se dois aspectos. Primeiro, o modelo de Ohama implica em hidratação do cimento e os fenômenos relacionados ao tempo em aberto ocorrem antes do início de pega, portanto, antes que ocorram reações de hidratação significativas. Segundo, o estudo em que se baseia Ohama foi realizado com os polímeros EVA, SBR (estireno butadieno) e PAE (poliéster acrilato). Não pode, portanto, ser usado para explicar o fenômeno de tempo em aberto de argamassas que não contenham estes polímeros, como aquelas formuladas apenas com HEC ou HEMC.

Adicionalmente, é preciso ressaltar que HEC ou HEMC são adicionados em teores muito inferiores aos usuais para EVA, SBR e PAE e dificilmente seriam capazes de formar semelhante filme em quantidade suficiente.

Nenhum dos modelos considera qualquer influência da perda de água, seja por evaporação ou por sucção da base, para explicar o surgimento da película superficial, da migração do polímero para a superfície ou da coalescência do polímero.

As evidências empíricas a sustentar a hipótese da formação de película são ainda pouco consistentes:

(a) mudança da superfície do cordão de argamassa, tornando-o mais branco com o decorrer do tempo;

(b) presença de filme polimérico na superfície das argamassas;

(c) o fato de que o cordão de argamassa permanece plástico. A mudança da cor superficial pode ser resultado da secagem superficial. Filmes poliméricos são também encontrados nos poros internos da argamassa (SILVA, ROMAN, 2001). O fato do cordão permanecer plástico também não exclui a secagem superficial por evaporação.

O fenômeno da formação de película superficial da argamassa colante será objeto de um estudo futuro.

### Perda de água

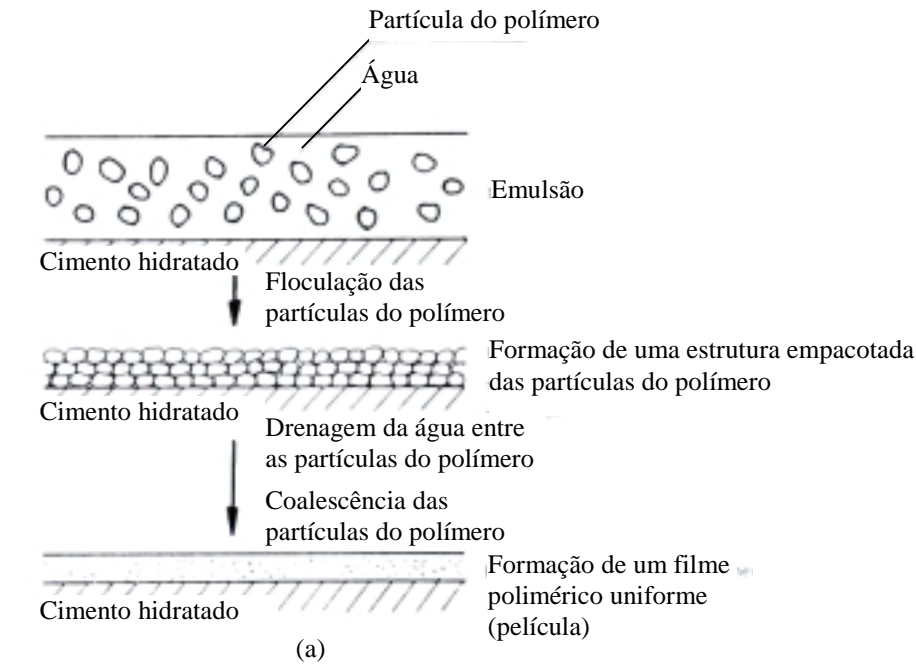
A perda de água por evaporação ou absorção da base é também uma explicação possível para a perda de capacidade colante da argamassa antes da aplicação da placa cerâmica.

A sucção para a base se dá devido à tensão capilar – tensão existente devido à diferença de pressão resultante da energia livre residente na superfície líquido-gás, produzindo um fenômeno de ascensão ou descensão em um tubo capilar (ÁSSY, 1996; HOUSEL, 1950). Tensão superficial e diâmetro dos poros são fatores determinantes nesse fenômeno. A evaporação decorre de diferenças de pressão de vapor. Temperatura, umidade relativa e velocidade do ar são variáveis que controlam o processo.

Détriché et al. (1985) propõem um modelo onde explicam como ocorre a perda de água por sucção. Assumem que a textura porosa da argamassa e da base é constituída por um conjunto de tubos capilares cilíndricos de diferentes diâmetros, perpendiculares à superfície livre e à base.

Segundo este modelo, ao aplicar a argamassa convencional fresca sobre a base, os capilares mais finos da base começam a retirar a água dos capilares mais grossos da argamassa, até o momento em que o raio dos capilares da argamassa diminuem, devido à formação dos produtos de hidratação do cimento sobre suas paredes. Quando isso acontece, a velocidade de absorção capilar diminui consideravelmente após algumas horas, chegando a se anular entre 2 e 3 horas após o assentamento da argamassa, já que deixam de existir capilares não saturados da base de raios inferiores aos da argamassa. A dessecação da argamassa prossegue, então, apenas por evaporação.

<sup>2</sup> Na verdade, esta reação é lenta e não deveria ser considerada neste modelo.



(b)

**Figura 6** - (a) modelo simplificado do processo de formação da película sobre o cimento hidratado (OHAMA, 1987); (b) película formada em uma argamassa aditivada com EVA (WACKER, 1996)

A perda de água por evaporação pode levar à dessecação superficial dos cordões da argamassa colante, especialmente porque o HEC age produzindo uma “gelificação da água”, reduzindo a sua mobilidade. Esta evaporação pode ser responsável pela formação aparente de uma película superficial. A absorção pela base provavelmente causa fenômeno similar na base do filete.

Em termos práticos, a dessecação superficial causa a diminuição da área de contato entre a argamassa e o tardo da placa cerâmica, embora a parte interna dos cordões ainda se mantenha umedecida. Com isso, há a redução da aderência, o que pode provocar o descolamento.

Os autores desenvolveram, previamente, métodos de ensaio para analisar a perda de água de argamassas. Um primeiro método foi desenvolvido para determinar a perda de água por sucção pela placa cerâmica e outro para determinar exclusivamente a perda de água por evaporação (PÓVOAS et al., 1999; PÓVOAS, JOHN, 2000a).

Neste trabalho investiga-se se há influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência e conseqüentemente no tempo em aberto da argamassa colante, eliminando-se o efeito de sucção.

## Metodologia

O estudo consistiu: a) na determinação da perda de água por evaporação, por pesagem, durante o período de 25 minutos, segundo método desenvolvido em trabalho anterior (PÓVOAS, JOHN, 2000a); b) na determinação da influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência, segundo o método proposto neste trabalho.

### Determinação da perda de água por evaporação

#### Mistura

Pesou-se 300 g de argamassa colante em balança com precisão de 0,001 g. A quantidade de água vertida sobre a argamassa, simulando aplicação em obra, foi de 57 g, seguindo a orientação do fabricante. A mistura com espátula foi contínua, por 2 minutos; a argamassa permaneceu então em descanso por 15 minutos e foi misturada manualmente por mais 2 minutos.

#### Confecção dos corpos-de-prova

Três placas de aço inoxidável de 10 cm x 10 cm, numeradas e com massas previamente determinadas, foram posicionadas uma ao lado da outra (Figura 7). Sobre cada placa de aço inoxidável foi colocada uma fôrma, também de aço inoxidável, sem fundo, com dimensão 5 cm x 5 cm cm e espessura de 6 mm, com massa previamente determinada (Figura 7a). A seguir, a fôrma foi preenchida com a argamassa e rasada com uma régua metálica (Figura 7b). Nos tempos pré-fixados o conjunto foi pesado com precisão de 0,001 g. A temperatura no laboratório foi mantida a  $23 \pm 2$  °C, a umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  e a velocidade de vento, medida com anemômetro de fio quente, inferior ou igual a 0,2 m/s.

#### Procedimento de medida

Os três conjuntos foram pesados de 5 em 5 minutos durante 25 minutos, mantidos na câmara climática Thermotron, modelo SM-3.5S, com temperatura de 23 °C, umidade relativa de 65 % e velocidade de vento de  $0,7\text{m/s} \pm 0,2\text{m/s}$ .

#### Expressão do resultado

Foi calculada a porcentagem da perda de água por evaporação ( $PA_{\text{evap}}$  (%)) para cada leitura realizada, de

cada corpo-de-prova. Calculou-se a média aritmética dos três corpos-de-prova para se obter o resultado da porcentagem da perda de água por evaporação. Foi traçada a curva de evaporação ao longo do tempo.

$$PA_{\text{evap}} (\%) = \left[ 1 - \left( \frac{P_{\text{conj}} - P_{\text{placa} + \text{fôrma}}}{P_{\text{arg}}} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

$$P_{\text{arg}} = P_{\text{conj } 1} - P_{\text{placa} + \text{fôrma}} \quad (2)$$

Onde:

$PA_{\text{evap}}$  (%): perda de água por evaporação

$P_{\text{conj}}$ : peso do conjunto (leitura realizada de 5 em 5 minutos) (g)

$P_{\text{placa} + \text{fôrma}}$ : peso da placa + peso da fôrma (g)

$P_{\text{arg}}$ : peso inicial da argamassa (g)

$P_{\text{conj } 1}$ : primeira pesagem do conjunto (g)

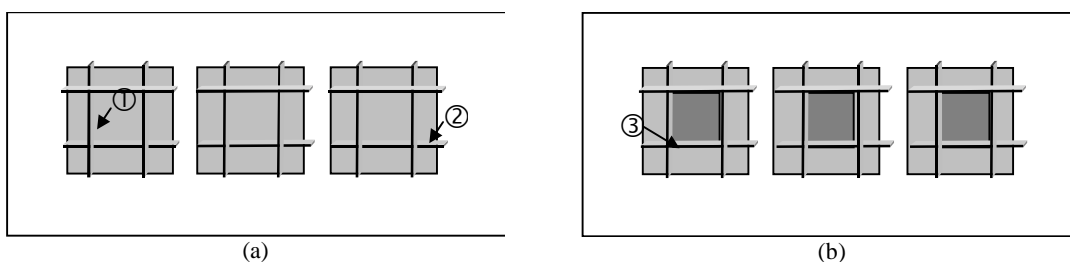
### Determinação da influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência

#### Espalhamento da argamassa colante

A argamassa foi espalhada sobre uma base não absorvente, ou seja, placas de vidro, nas dimensões 250 mm x 500 mm, cobertas com um plástico em toda dimensão e com espessura média de 0,18 mm, para facilitar a desmoldagem da argamassa; o plástico foi fixado no vidro com vaselina. Sobre o plástico foi aplicada, com a ajuda de uma desempenadeira denteada, uma camada de argamassa colante com espessura aproximada de 5mm. Foram preparadas, no total, cinco placas (Figura 8a). As condições do laboratório foram as mesmas citadas no item *Formação de película*.

#### Confecção dos corpos-de-prova

Passados 5 minutos do espalhamento da argamassa, misturada de acordo com a NBR 14082 (ABNT, 1998b), foram assentadas 10 placas cerâmicas, com  $(50 \pm 1)$  mm de



**Figura 7** - Confecção dos corpos-de-prova (a) sem argamassa, onde ① indica a fôrma de aço inoxidável sem fundo e ② indica a chapa de aço inoxidável; (b) fôrmas preenchidas com argamassa, que é indicada por ③

aresta, percutindo-se uma única vez os quatro cantos e o centro da face vitrificada com o cabo de madeira da espátula. A força aplicada foi o próprio peso da espátula, solta de uma altura aproximada de 50 mm. O assentamento foi tal que as arestas das cerâmicas ficaram afastadas aproximadamente 50 mm entre si e no mínimo 25mm da borda mais próxima da placa de vidro (Figura 8b).

Passados 10, 15, 20 e 25 minutos dessa aplicação da argamassa, assentou-se as demais placas cerâmicas sobre as outras bases. Após o assentamento, foi retirada toda a argamassa colante não coberta pela cerâmica, com a ajuda da espátula.

As placas cerâmicas estavam isentas de engobe em seu tardo, limpas, secas e sem apresentarem quebras e imperfeições.

Foram mantidas por, pelo menos, 12 horas no ambiente climatizado do laboratório antes do ensaio, conforme recomenda a NBR 14083 (ABNT, 1998c).

### Estocagem e cura

As placas de vidro permaneceram na posição horizontal durante 28 dias, nas condições ambientais do laboratório descritas no item *Formação de película*.

### Colagem dos dispositivos para arrancamento

O plástico foi retirado e a superfície da argamassa anteriormente em contato com ele foi colada ao substrato-padrão (ABNT, 1998b) com adesivo epóxico. Posteriormente, foi colada sobre cada placa cerâmica a placa metálica de arrancamento com  $50\text{mm} \pm 1\text{mm}$  de aresta, utilizando o mesmo adesivo.

### Procedimento de medida

Foi utilizado o equipamento de arrancamento por tração da marca Dynatest, com a velocidade de carregamento uniforme de  $250\text{ N/s} \pm 50\text{ N/s}$ , indicada pela NBR 14083 (ABNT, 1998c), anotando-se a tensão e a forma de ruptura, conforme recomenda a mesma norma. Foram considerados apenas os resultados de aderência que apresentaram ruptura na argamassa colante e entre a argamassa e a placa cerâmica.

### Expressão do resultado

Foi tomado o modelo de cálculo de determinação do tempo em aberto das argamassas colantes apresentado na NBR 14083 (ABNT, 1998c). Os valores que se desviaram mais de 20% da média não foram descartados, ao contrário do que recomenda a norma. Todos os resultados obtidos foram analisados pela aplicação de regressão robusta, a qual apresenta uma estabilidade contra os pontos muito dispersos da média, como é o caso do método dos mínimos quadrados, pois os cálculos são feitos com relação à mediana (MÜLLER, 2000; PÓVOAS, JOHN, 2000b).

### Análise dos resultados por regressão $L_1$

A regressão  $L_1$  é um método robusto de estimação, também chamado de mínima soma dos erros absolutos ou de mínimos desvios absolutos. Este método é resistente a valores dispersos na variável  $y_i$  (variável resposta), o que pode evitar o descarte de resultados dispersos mais de 20% da média, após ter calculado a tensão média de ruptura de dez placas correspondentes a cada série assentada nos diferentes intervalos de tempo, como recomendado pela NBR 14083 (1998c). O modelo da regressão linear simples é dado por

$$\text{Res}_i = \beta_0 + \beta_1 T_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

Onde:

$\text{Res}_i = y_i$  : resistência de aderência (MPa);

$i$  : resultado experimental: 1, 2, ..., n;

$\beta_0$  : parâmetro intercepto ou coeficiente linear;

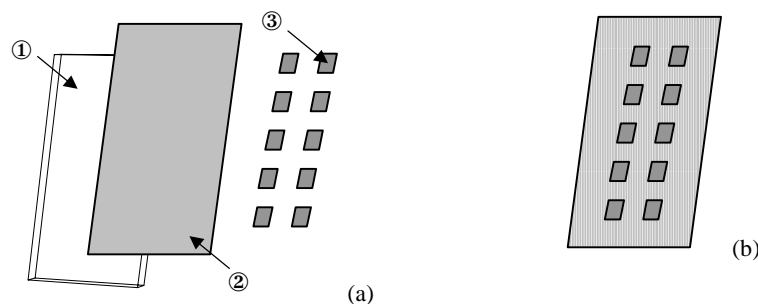
$\beta_1$  : parâmetro inclinação ou coeficiente angular;

$T_i = x_i$  : tempo em aberto (min);

$\varepsilon_i$  : erro aleatório, isto é, a distância entre os pontos do gráfico de dispersão e a reta da regressão linear ajustada ( $\varepsilon_i = \text{Res}_i - E(\text{Res}_i)$ ).

Ao estimar  $\text{Res}_i$ , o valor estimado de  $\varepsilon_i$  é considerado  $E(\varepsilon_i) = 0$ , resultando em

$$E(\text{Res}_i) = E(\beta_0 + \beta_1 T_i) \quad (4)$$



**Figura 8** - Confecção dos corpos-de-prova: (a) materiais a serem utilizados, onde ① indica a placa de vidro, ② indica o plástico com vaselina no verso, ③ indica as placas cerâmicas, em número de dez; (b) placa cerâmica assentada sobre a argamassa colante espalhada sobre o plástico

Os estimadores dos parâmetros  $E(\beta_0)$  e  $E(\beta_1)$  não possuem uma fórmula explícita; são determinados de tal forma que a soma dos erros absolutos<sup>3</sup> seja mínima. O algoritmo utilizado nesta pesquisa para estimar os parâmetros está apresentado em Tavares (1998).

## Caracterização dos materiais utilizados

A placa cerâmica utilizada apresentou absorção de água de 16 %, medida de acordo com a NBR 13818 (ABNT, 1997).

A argamassa colante utilizada foi a do tipo AC-I para interiores. As características de resistência de aderência e tempo em aberto são objeto de detalhamento deste estudo, por isso não estarão apresentados neste item.

A caracterização da argamassa colante quanto ao deslizamento não foi realizada devido ao ensaio ser realizado na horizontal, não precisando levar em consideração esta propriedade.

Para o ensaio de arrancamento, a argamassa foi colada com adesivo epóxi no verso do substrato-padrão. Como não houve perda de água por sucção, não foi necessário realizar o ensaio de absorção no substrato.

## Apresentação e análise dos resultados

### Quantidade de água perdida por evaporação

Para o ensaio de medida da perda de água por evaporação, foram produzidas duas séries com três corpos-de-prova cada uma para possibilitar a aplicação de análise de variância (ANAVA) e verificar a repetibilidade do ensaio a um nível de significância de 5 %.

Os resultados da perda de água para o meio ambiente, medida através da variação de massa até 25 minutos, estão apresentados na Figura 9a e na Tabela 1.

A análise de variância comprova que as duas séries não apresentam resultados que diferem significativamente em qualquer dos 5 intervalos de tempo estudados, o que demonstra a repetibilidade do experimento com pequeno desvio-padrão. Sendo assim, adota-se o valor médio de 1,11 % para a perda de água por evaporação aos 25 minutos (Figura 9a).

Se comparada com as argamassas estudadas anteriormente (Figura 9b), que foram preparadas em laboratório, com 0,4 % de HEC, 10 % de EVA e 0,4 %

de HEC + 10 % de EVA (percentuais em relação à massa de cimento), sem o fenômeno de sucção (PÓVOAS, JOHN, 2000a), a perda por evaporação da argamassa medida no presente trabalho é da mesma ordem de grandeza, mas ligeiramente menor, pois os valores apresentados após 25 minutos foram de 1,24, 1,43 e 1,29 %, respectivamente.

Pode-se observar também, na Figura 9a, que em um estágio inicial, a velocidade de perda de água é provavelmente maior, conforme indicada pelo ângulo  $\alpha$ , mas diminui após um tempo em torno de 5 minutos, apresentando um ângulo  $\beta < \alpha$ . Este aspecto, no entanto, deverá ser objeto de investigações futuras.

### Resistência de aderência

Este ensaio, desenvolvido como descrito no item *Determinação da influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência*, tem os resultados apresentados na Tabela 2. Os espaços vazios indicam valores desprezados porque a ruptura não ocorreu na interface argamassa/placa cerâmica ou na argamassa, mas na interface argamassa/substrato.

A análise dos dados é feita através da regressão robusta pelo método  $L_1$ , segundo a qual não se descartam os valores que diferem 20 % da média de cada intervalo de tempo, conforme recomenda a NBR 14083 (ABNT, 1998c).

Para efetuar este tipo de regressão, foi utilizado o programa STATISTICA.

A regressão linear robusta aplicada aos dados da Tabela 2 está apresentada na Figura 10. Os resultados individuais estão indicados, assim como a reta que representa a evolução da queda da resistência de aderência em função do tempo de assentamento da placa cerâmica.

A Figura 11a apresenta a correlação entre as estimativas de aderência média fornecidas pela equação linear apresentada na Figura 10 ( $y = 0,604 - 0,014 t$ ), aos 0, 5, 10, 15, 20 e 25 minutos, com os da perda de água por evaporação. A correlação linear obtida é excelente, sendo que 99,7 % da perda de resistência de aderência pode ser explicada pela evaporação da água. Esta conclusão não pode ser generalizada para outra argamassa que não a colante.

Ao alcançar o tempo em aberto, a superfície do cordão de argamassa se apresenta ressecada; embora sob pressão, a camada interna ainda se encontra fresca. Ao pressionar a placa cerâmica sobre o cordão, este promove a adesão da placa, mas a resistência é diminuída. Este fato deve ser o principal responsável pelo descolamento.

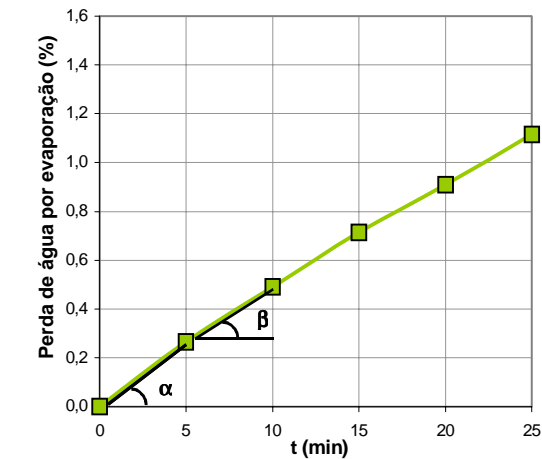
Como os ensaios foram feitos sob condições controladas, sem perda por sucção pela base, a perda por evaporação foi o principal responsável pela perda de resistência de aderência.

<sup>3</sup>  $\sum_{i=1}^n |Res_i - E(Res_i)|$

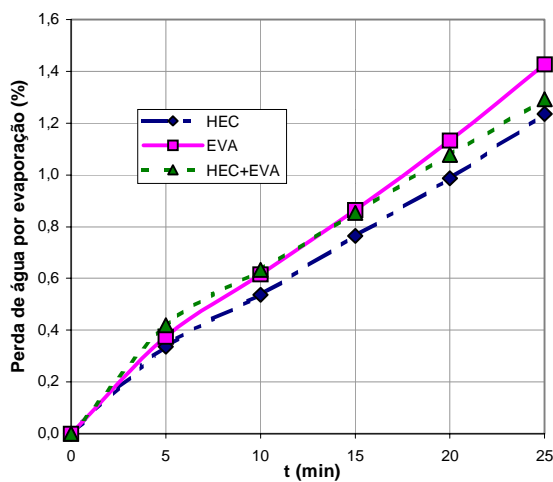


Ao correlacionar os dados de Póvoas e John (2000b), onde a variação da resistência de aderência com o tempo foi estudada através do ensaio de determinação do tempo em aberto (ABNT, 1998c), com os dados constantes da Figura 9b, confirma-se a conclusão de que a perda por evaporação foi o principal responsável pela perda de resistência de aderência (Figura 11b).

Os resultados da argamassa estudada indicam que a cada 0,22 % de perda de água por evaporação, há perda de resistência de aderência de 0,07 MPa, ou seja, de mais de 10 % da resistência de aderência.



(a)



(b)

**Figura 9** - Resultado típico do ensaio de perda de água por evaporação: (a) argamassa tipo AC-I<sup>4</sup>, (b) resultados de Póvoas e John (2000a)

Séries	Resultados (%)	Média das séries (%)	Média geral (%)	Desvio-padrão
1	1,24	1,15	1,11	0,14
	1,02			
	1,20			
2	1,25	1,08	1,11	0,14
	0,89			
	1,09			

<sup>4</sup> argamassa colante para assentamento de revestimentos internos ensaiada

**Tabela 1** - Média e desvio-padrão do ensaio de perda de água por evaporação após 25 minutos

## Conclusões

O ensaio de determinação da perda de água por evaporação da argamassa tipo AC-I estudada apresentou repetibilidade adequada com pequeno desvio-padrão, confirmando resultados anteriores (PÓVOAS, JOHN, 2000a).

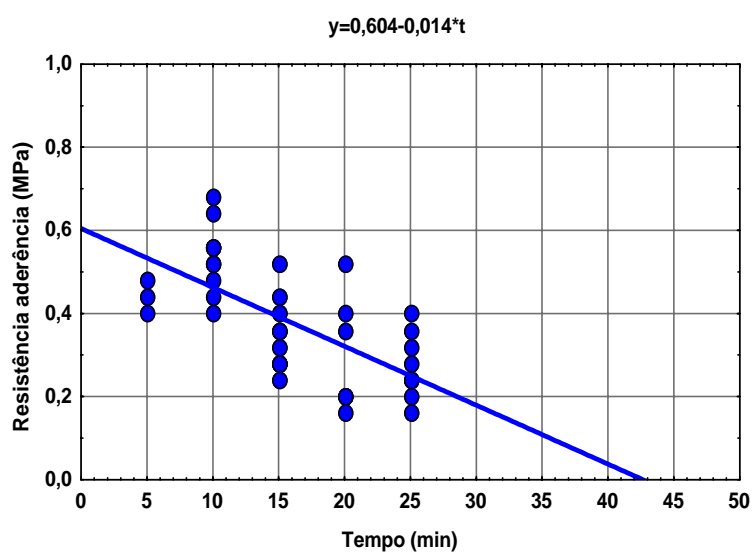
A perda de água por evaporação de 1,11 % apresentada pela argamassa é da mesma ordem de grandeza das outras argamassas estudadas. A velocidade de perda de água provavelmente é maior em um estágio inicial, mas diminui após 5 minutos. Este aspecto deverá ser objeto de futuras investigações.

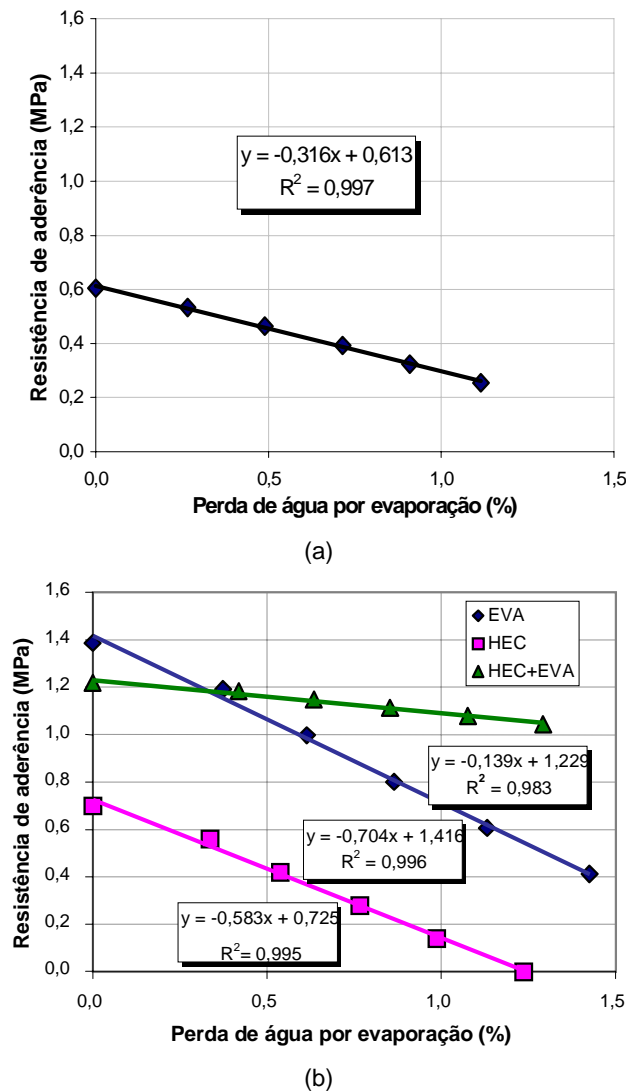
A variação da resistência de aderência apresenta uma elevada correlação (acima de 98 %) com a perda de água por evaporação. Conseqüentemente, é possível sugerir que os fenômenos relacionados ao tempo em aberto sejam devidos à dessecação superficial por evaporação. Estas conclusões ainda necessitam ser validadas por ensaios posteriores.

Uma possibilidade a ser explorada é a de determinação do tempo em aberto a partir do ensaio de aderência inicial combinada com resultados da perda de água por evaporação.

O trabalho terá continuidade com a análise combinada da influência dos fenômenos de perda de água por sucção e evaporação na resistência de aderência.

Placa cerâmica	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(Mpa)
1		0,68	0,28	0,16	
2		0,40	0,24		0,20
3		0,48	0,44		0,24
4	0,48	0,64	0,36	0,52	0,36
5		0,56	0,36	0,36	0,24
6		0,56	0,40	0,20	0,32
7		0,52	0,52	0,20	0,28
8		0,56	0,32	0,20	0,40
9	0,40	0,52	0,28		0,16
10	0,44	0,44	0,28	0,40	0,24

**Tabela 2** - Resultados do ensaio de resistência de aderência**Figura 10** - Regressão  $L_1$  aplicada aos resultados do ensaio de resistência de aderência



**Figura 11** - Resistência de aderência *versus* perda de água por evaporação (a) argamassa tipo AC-I ensaiada (b) resultados de Póvoas e John (2000b)

## Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 14082**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios: procedimento. Rio de Janeiro, 1998b.

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

ÁSSY, T.M. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: Plêiade, 1996.

BAUER, R. Descolamentos em revestimentos cerâmicos, análises e recomendações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiás: UFG; ANTAC, 1995. p. 193-202.

DÉTRICHÉ, C.H. et al. Influence des paramètres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit. **Matériaux et Constructions**, v. 18, n. 105, p. 193-200, 1985.

- FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: PINI, 1994.
- FU, X.; CHUNG, D.D.L. Effect of methylcellulose admixture on the mechanical properties of cement. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 4, p. 535-38, Apr. 1996.
- HEROLD, H. Fixing of stoneware “porcelanic” tile by means of ceramic tile adhesives modified with redispersible polymer powder. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, 6., 2000, Castellón. **Proceedings...** Castellón: [s.n.], 2000. v.3, p. GII-77-88.
- HOUSEL, W.S. **Misconceptions in the use of surface tension in capillarity**. [S.l.: s.n.], 1950.
- MÜLLER, J.W. Possible advantages of a robust evaluation of comparisons. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v. 105, n. 4, p. 551-555, Jul./Aug. 2000.
- OHAMA, Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. **ACI Materials Journal**, p. 511-518, Nov./Dec. 1987.
- PÓVOAS, Y.V.; JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. A influência do HEC e do PVAc na perda de água por sucção das argamassas colantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC; ANTAC, 1999. v. 1, p. 405-416.
- PÓVOAS, Y.V.; JOHN, V.M. Ceramic tile adhesives: determination of open time by  $L_1$  regression. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, 6., 2000, Castellón. **Proceedings...** Castellón: [s.n.], 2000a. v.3, p. GII-107-115.
- \_\_\_\_\_. Método para determinação da perda de água de argamassas colantes por evaporação. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2000, Recife. **Anais...** Recife: [s.n.], 2000b.
- PÓVOAS, Y.V. **Tempo em aberto da argamassa colante**: método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SILVA, D.A.; ROMAN, H.R. Pastas de cimento modificadas com polímeros HEC e EVA: estudo da distribuição de tamanho de poros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC; ANTAC, 2001. p. 321-332.
- SILVA, D.A.; ROMAN, H.R.; ALARCON, O.E. Influence of HEMC and EVA on some properties of dry-set mortars. In: WORLD CONGRESS ON CERAMIC TILE QUALITY, 6., 2000, Castellón. **Proceedings...** Castellón: [s.n.], 2000. v.3, p.GII-21-30.
- TAVARES, R.A. Seleção de variáveis em regressão  $L_1$ . 1998. 82 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TURNER, G.B. Cellulose derivatives. **Chemistry and Industry**, v. 23, p. 920-928, 1963.
- WACKER. Vinyl Acetate Polymers. Vinnapas: Redispersible Powders. [1996]. Folder.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à FAPESP e à ABCP pelo apoio à pesquisa, e especialmente a Elza H. Nakakura (ABCP) pela contribuição no desenvolvimento do trabalho.