

Efeito da adição de látex nas pastas de cimento branco no estado endurecido

Effect of polymer additions on pastes of white cement on hardened state

Carlos Eduardo Carbone
Hudson Santos
Roberto Cesar de Oliveira Romano
Rafael Giuliano Pileggi

Resumo

Este trabalho investiga o impacto da utilização de látex poliméricos em propriedades de pastas de cimento Portland branco no estado endurecido. Para tanto, foram utilizados dois látex com propriedades físico-químicas distintas: EVA (etileno de vinil acetato) em pó redispersível, e SAE (estireno acrílico) na forma de emulsão. As pastas foram preparadas com relação água/cimento constante de 0,40, e as quantidades de látex foram variadas, de 5% a 20% de constituintes ativos em relação à massa de cimento. Apesar de os látex poliméricos terem afetado negativamente a reação de hidratação do cimento de forma distinta, houve aumento na resistência mecânica e redução da absorção de água e da permeabilidade ao vapor, com maior teor látex/cimento.

Carlos Eduardo Carbone
Artspray Engenharia de Revestimentos
Jandira - SP - Brasil

Hudson Santos
Artspray Engenharia de Revestimentos
Jandira - SP - Brasil

Roberto Cesar de Oliveira Romano
Universidade de São Paulo
São Paulo - SP - Brasil

Rafael Giuliano Pileggi
Universidade de São Paulo
São Paulo - SP - Brasil

Recebido em 21/06/12
Aceito em 16/05/13

Palavras-chave: Látex. EVA. SAE. Cimento Portland branco. Absorção de água. Permeabilidade.

Abstract

This paper investigates the impact of polymers on properties of white Portland cement pastes in the hardened state. Two different polymers, with different physical-chemical properties were used: EVA (ethylene vinyl acetate) as redispersible powder, and SAE (styrene acrylic emulsion). Pastes were prepared using a constant water/cement ratio of 0.40, and varying amounts of latex from 5% to 20% of actives by cement weight. Although the polymers had negative and different impacts on cement hydration reactions, the mechanical strength was increased; water absorption and steam permeability were reduced at a higher latex/cement ratio.

Keywords: Latex. Polymer. EVA. SAE. White Portland cement. Water absorption. Permeability.

Introdução

A adição de látex polimérico em argamassas usadas para reparos, colantes, chapiscos de alto desempenho e acabamento de fachadas é prática comum no setor de construção civil, visto que auxiliam seu desempenho nos estados fresco e endurecido.

Tais látex, sejam naturais ou sintéticos, podem ser utilizados em forma de pós redispersíveis ou mesmo em emulsões, formando dispersões estáveis de micropartículas poliméricas em um meio aquoso, resultando, após a secagem, em um filme com características ligantes, impermeáveis à água e com elevada resistência mecânica (OHAMA, 1995). Essa prática não é novidade, uma vez que a adição dos látex ao cimento é utilizada desde a década de 1920, quando argamassas e concretos eram preparados utilizando-se látex natural de borracha.

Vários autores descrevem como a coalescência das partículas do látex em conjunto com a reação de hidratação do cimento dão origem à formação de uma matriz monolítica, com propriedades melhoradas, quando comparadas com o convencional (SU; BIJEM; LARBI, 1991; OHAMA, 1995; BEELDENS, 2002; SILVA; MONTEIRO, 2006). A hidratação do cimento, geralmente, precede o processo de formação de filme e, com seu início, ocorre a diminuição da água livre no sistema e as partículas de látex mais próximas aos grãos de cimento coalescem em filmes contínuos (OHAMA, 1995).

É conhecido que a utilização dos látex poliméricos retarda a hidratação do cimento e aumenta o teor de ar incorporado na matriz cimentícia devido à presença de tensoativos na composição dos látex, fatos que podem afetar as propriedades no estado endurecido (JINGANG *et al.*, 2005; MERLIN *et al.*, 2005).

O que tem sido pouco abordado é que, nas primeiras idades de hidratação, a resistência mecânica diminui com o aumento do teor de látex, mas em idades avançadas essa tendência é invertida. Isso ocorre porque, nas primeiras idades, há retardo da hidratação do cimento e não há coalescência dos látex; daí, com o passar do tempo, a reação do cimento continua ocorrendo e a coalescência do látex é favorecida pela secagem da amostra, formando um filme polimérico e gerando uma sinergia positiva entre ambos os efeitos, o que aumenta a resistência (KNAPEN, 2007).

Além disso, a absorção de água por capilaridade diminui ao mesmo tempo em que aumenta a resistência à permeabilidade ao vapor de água, sendo essas propriedades de vital importância para

os revestimentos técnico-decorativos de fachadas, por desempenharem funções físicas de proteção às camadas e elementos subjacentes contra umidade e condições climáticas (LUTZ, 2001).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de látex poliméricos nas propriedades de pastas de cimento branco no estado endurecido a partir da quantificação da resistência mecânica, da absorção de água por capilaridade e da permeabilidade ao vapor de água, ao longo do tempo de cura. O cimento Portland branco foi escolhido devido à demanda de revestimentos de cores pastéis. Quanto aos látex, foram escolhidos o EVA e o SAE, por serem os mais utilizados comercialmente e os mais citados na literatura.

Métodos de ensaio

Caracterização das matérias-primas

Distribuição granulométrica a laser: foi medida em um equipamento Malvern, modelo Mastersizer S Long Bed Ver 2.19, com faixa de detecção de 0,05 μm a 555 μm .

Medida de Área Superficial Específica (ASE): a medida, baseada na adsorção física e dessorção de gás na superfície da amostra sólida, foi realizada a partir do método de BET (Braunauer, Emmet e Teller), em um equipamento Gemini 2375 – Micrometrics com pré-tratamento das amostras em temperatura de 100 °C e pressão de 100 mmHg.

Picnometria de gás He: a densidade real dos pós foi determinada por picnometria de adsorção de gás He em um equipamento Multipicnometer, da marca Quantachrome MVP 5DC.

Difração de raios X: realizada em um equipamento Empyrean, Panalytical, com detector PIXcel^{3D}. O cimento seco foi adicionado no porta-amostra, prensado manualmente e nivelado com o auxílio de uma lâmina metálica. O conjunto foi fixado em uma base metálica, e a amostra estava pronta para a realização do ensaio. Os ensaios foram realizados com radiação de cobre, utilizando-se uma fenda fixa de 0,5°, filtro de níquel e frequência de *spinning* de 2 s por rotação. As medidas foram feitas com passo de 0,013°, permanecendo em cada passo por 30 s, no intervalo de 10° < 2 θ < 70°.

Teor de álcalis: a determinação dos teores de óxido de sódio (Na₂O) e de potássio (K₂O) totais foi feita por fotometria de chama de acordo com a norma técnica NM 17 (ABNT, 2012). A determinação dos teores de óxido de sódio (Na₂O) e de potássio (K₂O) solúveis em água foi feita por

espectrometria de absorção atômica, seguindo-se as diretrizes gerais da ASTM C114 (AMERICAN..., 2007).

Avaliações no estado fresco

Densidade e ar incorporado: realizada a partir do método gravimétrico, seguindo a norma técnica NBR 13278 (ABNT, 2005), com base no teor de água utilizado na mistura e na densidade real dos pós, obtidas por picnometria de gás He.

Calorimetria de condução isotérmica: foi utilizado um calorímetro isotérmico, modelo TAM Air, TA Instruments, com precisão de $\pm 20 \mu\text{W}$, com 8 canais para realização de ensaios paralelamente. O fluxo de calor foi acompanhado por 72 h a 23°C .

Avaliações no estado endurecido

Resistência mecânica: o ensaio de resistência à tração na compressão diametral (R_{TCD}) foi realizado em uma máquina universal de ensaios, Instron, modelo 3365, com controle de carga de 2,0 kN/min. As amostras, com diâmetro de 50 mm e espessura de 10 mm, foram curadas por 7 dias em cura úmida (98% de umidade em temperatura ambiente) e até 360 dias em cura seca, em temperatura ambiente.

Um esquema ilustrativo do ensaio é apresentado na Figura 1, e na Equação 1 é apresentado o cálculo realizado para a determinação da resistência mecânica σ_{CD} .

$$\sigma_{\text{CD}} = \frac{2.P}{\pi.d.h} \quad \text{E. 1}$$

Onde:

P é a carga na ruptura (N);

d é o diâmetro da amostra (m); e

h é a altura (m).

Absorção de água por capilaridade: os ensaios foram realizados com a aplicação das composições, consumo de $\pm 3,0 \text{ kg/m}^2$ e espessura de $\pm 1,5 \text{ mm}$, em uma das faces de corpos de prova de argamassa mista, com proporção em volume 1:0,7:7, cimento Portland, cal hidratada CHI e areia respectivamente, medindo 10 cm x 20 cm x 3 cm. Com as bordas impermeabilizadas, a face revestida é colocada em contato com a água, conforme ilustrado na Figura 2. Após períodos predeterminados são registradas as massas de água absorvidas. O coeficiente de capilaridade W, expresso em $\text{kg/m}^2.\text{h}^{1/2}$, é obtido pela Equação 2, segundo as diretrizes da norma EN ISO 15148 (BRITISH..., 2002):

$$W = \frac{m_t - m_i}{A \times \sqrt{t}} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

A é a área (m^2);

t é o tempo em horas; e

m_t e m_i são as massas são em kg.

Figura 1 - Ilustração do ensaio de compressão diametral para determinação da resistência à tração

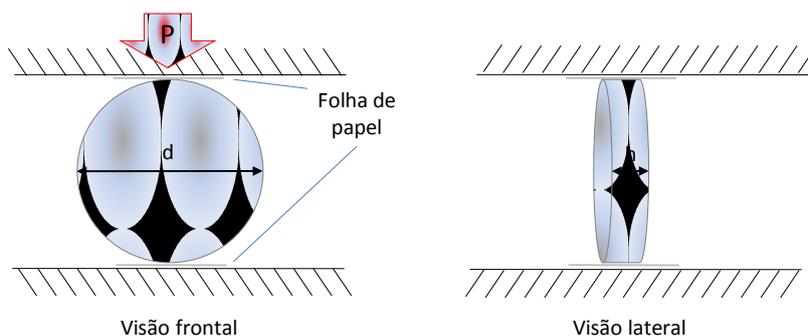


Figura 2 - Imersão parcial do corpo de prova com a face revestida em contato constante com a água e bordas seladas



Permeabilidade ao vapor de água: o método de ensaio segue as diretrizes da norma EN ISO 12572 (BRITISH..., 2001). Para a realização do ensaio é necessária a utilização de substrato com velocidade de transmissão de vapor de água superior a 240 g/(m²/dia). Nos ensaios realizados, o substrato utilizado, blocos de concreto celular autoclavado, apresentou velocidade de transmissão de vapor de água de 262 g/(m²/dia).

O ensaio foi realizado com corpos de prova cilíndricos de 83 mm x 21 mm, onde as pastas foram aplicadas em uma das faces, com consumo de $\pm 3,0$ kg/m². Com essas faces voltadas para baixo, os corpos de prova foram assentados em um recipiente de vidro, com as bordas vedadas e acondicionado no interior de um recipiente fechado, numa condição de contorno de 23 °C e umidade relativa do ar de 85 \pm 3%. Para forçar o fluxo de vapor através da membrana de revestimento, foi colocado dentro dos recipientes de vidro o secante cloreto de cálcio (CaCl₂), conforme ilustração apresentada na Figura 3.

Para o cálculo da permeabilidade ao vapor, é necessário medir antes a permeância (W), a quantidade de vapor que difunde por unidade de superfície de um material com uma espessura determinada, por unidade de tempo, e quando entre suas faces se estabelece uma diferença de pressão unitária, como mostra a Equação 3:

$$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p \cdot t} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

G é a taxa de ganho de massa num intervalo de tempo, calculado pela regressão linear entre massa e tempo, excluindo-se o período não linear, nesta etapa de ensaio;

A inclinação da reta G é dada em kg/s;

A é a área da amostra; e

Δp é a diferença de pressão entre as duas faces da amostra, calculada a partir da média de temperatura e umidade relativa ao longo do teste.

A resistência à passagem do vapor de água (Z) é dada pelo inverso da permeância, conforme a Equação 4, e o cálculo da resistência à permeabilidade ao vapor (S_d) é realizado conforme a Equação 5.

$$Z = \frac{1}{W} \quad \text{Eq. 4}$$

$$S_d = \delta_a \times Z \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

δ_a é a permeabilidade do vapor de água do ar em relação à pressão parcial de vapor (kg/(m.s.Pa)); e

S_d indica a espessura (em metros) de uma camada de ar em repouso que oferece a mesma resistência à difusão do vapor de água da amostra analisada.

Materiais

Para a realização do trabalho foram utilizados dois látex poliméricos, representados por EVA (Vinnapas 5010N - Wacker) e SAE (Mowilith LDM 6177 - Clariant) e cimento Portland branco (Tolteca).

Os látex apresentam as características ilustradas na Tabela 1. O cimento apresenta densidade real de 2,96 g/cm³, área superficial específica de 1,01 m²/g e distribuição granulométrica conforme ilustrado na Figura 4.

A composição mineralógica do cimento é apresentada na Tabela 2, obtida a partir de avaliação por difração de raios X (DRX) e refinamento pelo método de Rietveld.

Figura 3 - Corpos de prova preparados para a realização do ensaio dentro de câmara com T=23 °C e UR=85 \pm 3%

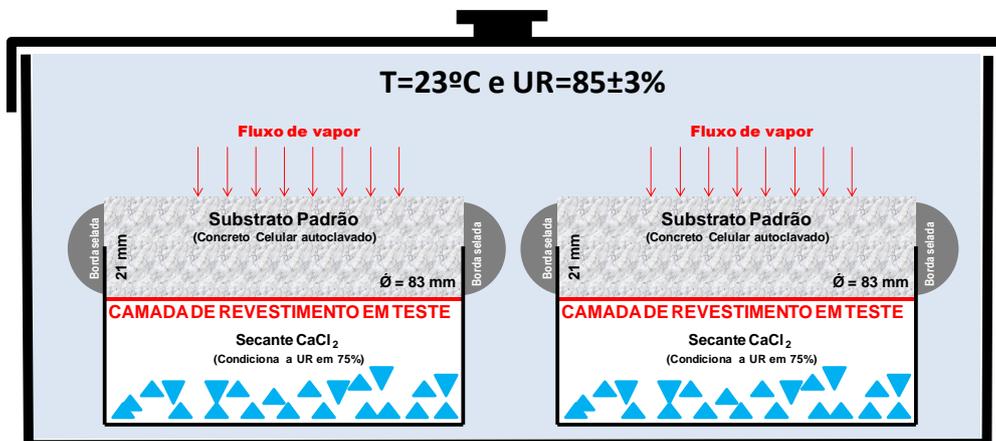


Tabela 1 - Características dos látex utilizados no trabalho

Característica	EVA	SAE
Tipo	Etileno Vinil Acetato	Estireno Acrílico
Teor de sólidos (%)	99	50
Resíduo sólido (%)	9 a 13	0
Teor de constituinte orgânico (%) *	78,8	49,7
Densidade aparente (g/cm ³)	0,49 a 0,59	1,40
pH (solução aquosa a 50%)	7,5	8,0 a 9,0
Temp. mín. de formação de filme – TMFF (°C)	4	15
Temperatura de transição vítrea -Tg (°C)	16	22

Figura 4 - Distribuição granulométrica do cimento (CPB) utilizado no estudo

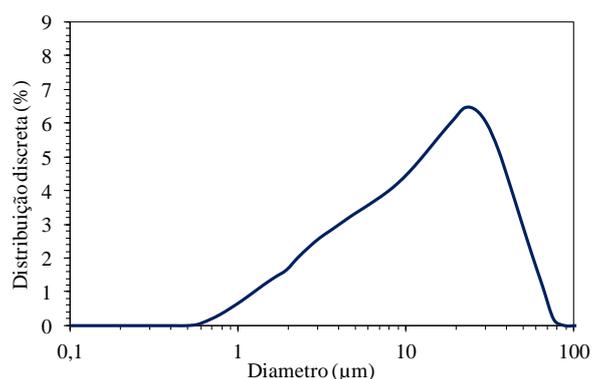


Tabela 2 - DRX do CPB: quantificação, números das fichas catalográficas e fórmula molecular das fases encontradas

Fases	Resultado (%)	Fórmula molecular	Ficha catalográfica
C3S	62,2	Ca ₃ SiO ₅	C3S - Alite, Nishi et al.
C2S	10,7	Ca ₂ SiO ₄	C2S - beta - Belite
C3A cúbico	6,6	Ca ₃ Al ₂ O ₆	C3A - Aluminate cubic
C3A ortorrômbico	0,9	Ca ₃ Al ₂ O ₆	C3A - Aluminate ortho, NIST
Portlandita	7,6	Ca(OH) ₂	Calcium hydroxide - Portlandite
Calcita	0,2	CaCO ₃	Calcium carbonate - Calcite
Dolomita	6,8	MgCa(CO ₃) ₂	Dolomite - from Binnenthal, Switzerland
Óxido de magnésio	0,5	MgO	Magnesium oxide - Periclase
Sulfatos de cálcio	4,6	CaSO ₄ .xH ₂ O	-

Não foi observada a presença da fase *brownmillerita* – C₄AF –, característica de cimentos Portland cinza, e foram quantificados 4,6% de fases de sulfatos de cálcio. O cimento apresentava-se um pouco hidratado, visto que foi observado pouco mais de 7% de portlandita. Os teores de carbonatos, seja de cálcio ou magnésio (7%), estão dentro dos limites estabelecidos pela normalização técnica vigente (ABNT, 1993).

Os teores de álcalis, solúvel e total que estão presentes no CPB são apresentados na Tabela 3.

Os álcalis podem provocar expansão ao reagirem com certos agregados. O valor encontrado do equivalente alcalino em (Na₂O) total de 0,14% é

considerado baixo, haja vista que a ASTM limita seu valor em 0,6% (TAYLOR, 1997).

Formulações avaliadas

Uma pasta sem adição, com fator água/cimento de 40%, foi mantida para controle, e as demais, com a mesma relação água/cimento, foram aditivadas com as relações látex/cimento em massa (L/C) de 5%, 10% e 20%, calculadas a partir do teor de constituintes orgânicos apresentados na Tabela 1. Para garantir que a mesma quantidade de água utilizada na pasta de referência fosse mantida nas pastas aditivadas, foi descontada a quantidade de líquido já presente na emulsão (SAE). As proporções em massa das matérias-primas utilizadas nas pastas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 - Determinação dos teores de álcalis presentes no CPB

Determinações	Resultados (%)
Óxido de sódio (Na ₂ O) total	0,02
Óxido de potássio (K ₂ O) total	0,18
Equivalente alcalino em (Na ₂ O) total*	0,14
Óxido de sódio (Na ₂ O) solúvel em água	< 0,01
Óxido de sódio (K ₂ O) solúvel em água	0,13

Nota: equivalente alcalino em (Na₂O) calculado conforme: Na₂O = % Na₂O + 0,658 % K₂O.

Tabela 4 - Proporção das matérias-primas utilizadas nas pastas

Amostra	L/C	Descrição	CIMENTO	LÁTEX	ÁGUA
Ref	0	CPB	71,4	0	28,6
EVA	5%	EVA05	68,3	4,3	27,3
	10%	EVA10	65,6	8,3	26,1
	20%	EVA20	60,6	15,4	24,0
SAE	5%	SAE05	68,9	6,9	24,1
	10%	SAE10	66,6	13,4	20,0
	20%	SAE20	62,4	25,1	12,5

Nota: todas as pastas tem relação água/cimento de 0,40.

Apesar de a massa de cimento em toda composição ter sido a mesma, ela diminuiu percentualmente em relação à massa total da composição, à medida em o látex foi introduzido. Assim, os resultados foram equalizados pela massa de cimento presente na amostra de referência.

Procedimento de mistura

Todo o pó (inclusive os látex, no caso dos pós redispersíveis) foi adicionado na cuba de uma argamassadeira Hobart, e toda a água (pura ou com o látex, no caso das emulsões) foi adicionada no pó, com vazão constante de 6 g/s, com o equipamento ligado na velocidade 1 (136 RPM). Com 1 min de mistura o equipamento foi desligado para limpeza das bordas e do fundo da cuba por aproximadamente 30 s. Em seguida, a argamassadeira foi ligada, e a mistura foi realizada por mais 1,5 min, na mesma velocidade.

Resultados e discussão

Calor de reação vs R_{TCD} (3 dias)

É sabido que a utilização de látex na modificação de composições cimentícias afeta a hidratação destas, a qual pode ser acompanhada a partir de ensaios de calorimetria de condução isotérmica. Nesse tipo de ensaio, determina-se a evolução da cinética de hidratação dos cimentos nas primeiras horas de reação, período que abrange os tempos de

início e fim de pega. O método permite comparar a reatividade entre cimentos, bem como a influência de parâmetros como temperatura de hidratação, finura, presença de adições e de aditivos e seus teores (ROMANO *et al.*, 2013; CINCOTTO, 2011).

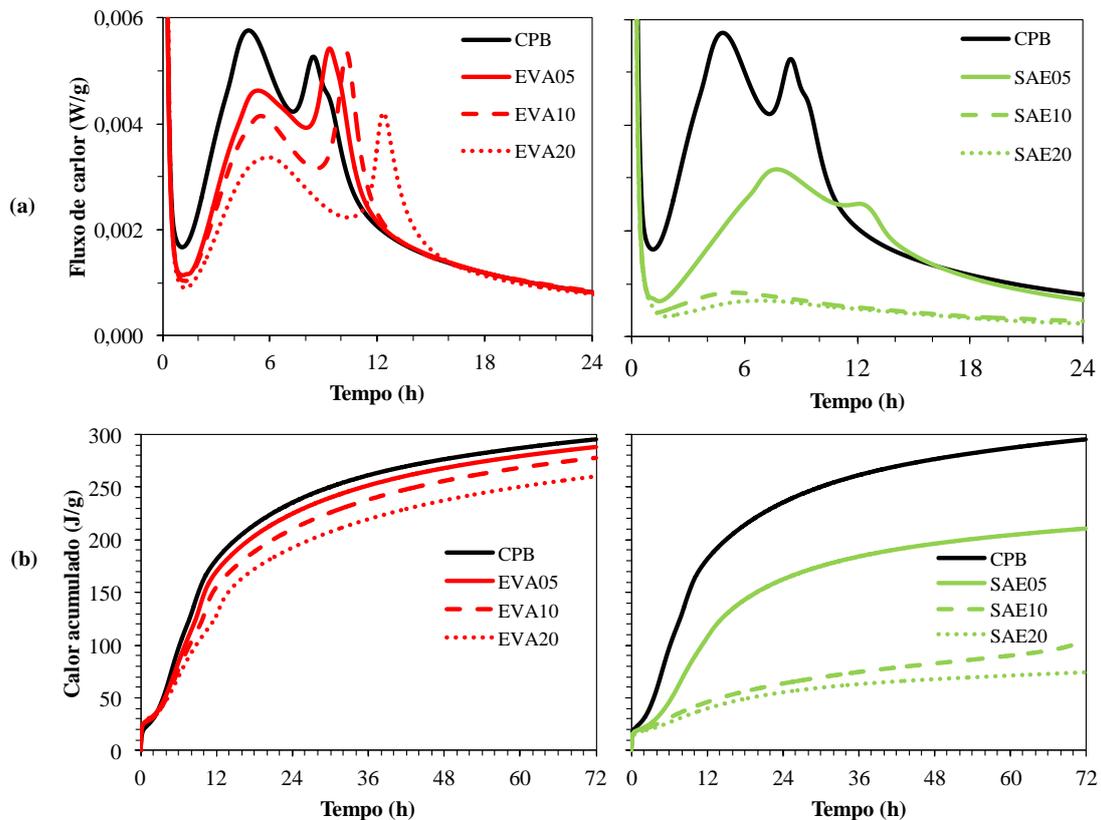
A Figura 5 mostra as curvas fluxo de calor até 24 h por ser o período mais relevante das reações de hidratação (a), e de calor acumulado até 72 h (b) de reação química do cimento nas composições de referência e com os distintos látex.

Nota-se que tanto o tipo quanto a quantidade de látex retardaram a cinética de reação, reduzindo a liberação total de calor após as 72 h iniciais de reação de forma significativa e proporcional ao aumento do teor dos látex.

Os resultados são mais evidentes nas amostras formuladas com as emulsões. As amostras preparadas com EVA apresentaram redução do calor total de 2%, 6% e 12% quando os teores de adição foram de 5%, 10% e 20% respectivamente, enquanto nas pastas formuladas com SAE houve redução de 29%, 64% e 75% para os mesmos teores.

Isso indica uma redução considerável na cinética de hidratação do cimento e, apesar de os ensaios mostrarem somente o que ocorre na liberação de calor nas primeiras 72 h, estas alterações podem ter influência nos resultados no estado endurecido.

Figura 5 - Acompanhamento do fluxo de calor (a) e do calor acumulado (b), durante a reação de hidratação do cimento com o látex EVA ou SAE



Como a cinética de reação foi acompanhada somente até 3 dias, relacionou-se o calor acumulado com a resistência à tração na compressão diametral obtida após o mesmo período, e os resultados são apresentados na Figura 6. Nesse caso, como todos os látex resultaram em distintas quantidades de ar incorporado durante a mistura, resultando em diferentes densidades após o endurecimento (mensuradas a partir do ensaio de imersão de Arquimedes), normalizaram-se os resultados obtidos em função da densidade ($R_{TCD}/\text{densidade}$). São apresentados também, ao lado do gráfico, os valores de densidade utilizados nos cálculos.

Percebe-se uma relação inversamente proporcional e dependente do tipo de látex:

- (a) quanto maior o teor do látex, menor a relação R_{TCD} , devido ao retardo na reação de hidratação nas amostras modificadas;
- (b) com o aumento do teor de EVA de 5% para 20%, houve uma redução de 10% no calor liberado, o que resultou em uma diminuição de 12% na R_{TCD} ;
- (c) com a mesma variação no teor de SAE, houve redução de 65% na liberação de calor, que ocasionou uma queda de mais de 55% na R_{TCD} ; e

(d) nenhuma composição modificada apresentou valores de R_{TCD} inferiores aos da referência, com exceção da SAE20.

Pode-se, então, inferir que a utilização do látex afeta a hidratação do cimento, mas, mesmo com diminuição na taxa de reação, foram observados valores de resistência mecânica superiores aos obtidos para a pasta de cimento de referência. No entanto, somente a partir dessa análise não se têm indícios sobre o impacto provocado por sua ação nas idades mais avançadas.

Resistência à tração na compressão diametral em função do tempo de cura (7, 28, 90 e 360 dias)

Além dos resultados de R_{TCD} após 3 dias de cura, a evolução da resistência mecânica foi acompanhada até 360 dias. A Figura 7 apresenta os resultados da relação $R_{TCD}/\text{densidade}$ aos 7, 28, 90 e 360 dias de cura em função do tipo e teor de látex na formulação. Da esquerda para a direita, são apresentados os resultados para as pastas com 5%, 10% e 20% de L/C.

Figura 6 - Relação entre a R_{TCD} /densidade e o calor acumulado durante a reação química do cimento - na tabela são ilustrados os resultados das densidades de cada amostra

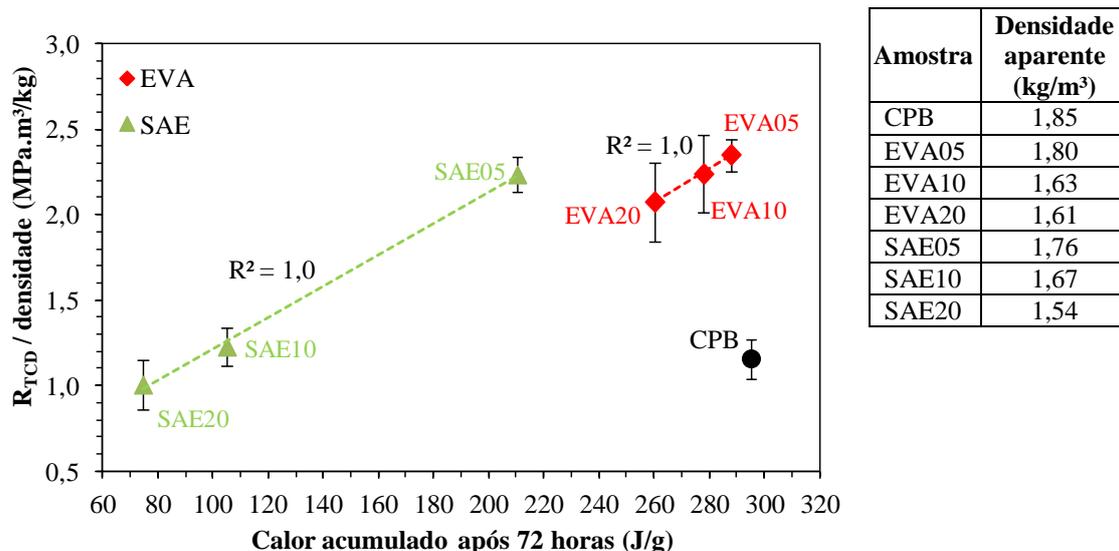
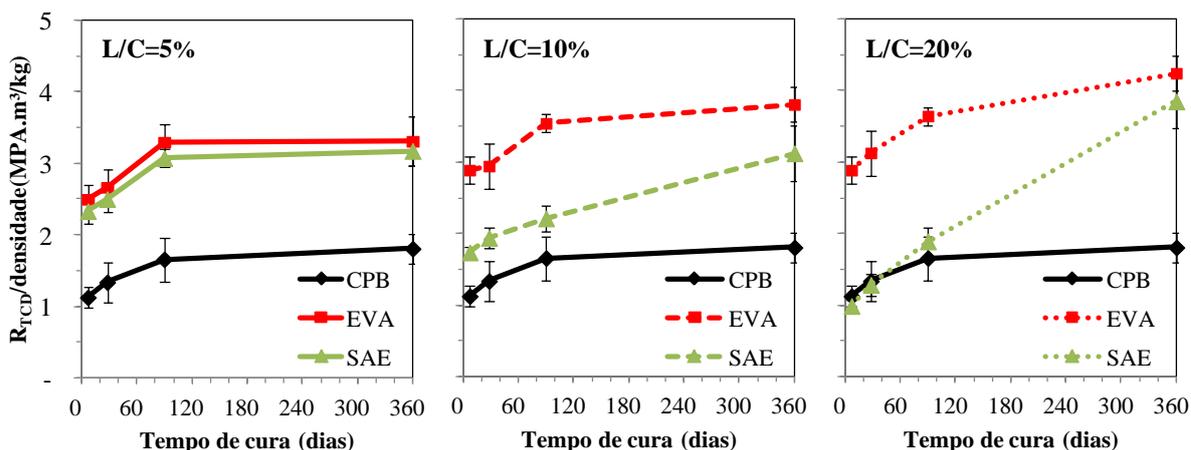


Figura 7 - Influência do tipo de látex na R_{TCD} do CPB e das amostras com látex aos 7, 28, 90 e 360 dias



Todas as amostras modificadas com látex apresentam razões R_{TCD} /densidade superiores às observadas para a referência, independentemente da idade de cura, com exceção do SAE20 até 28 dias. No menor teor, a diferença entre os látex foi irrelevante e independente da idade de cura, mas, com o aumento da relação L/C, a diferença entre os resultados obtidos para o EVA e para o SAE foram maiores, apresentando as pastas com EVA resultados sempre superiores. Após 90 dias, possivelmente a hidratação das amostras com SAE foi intensificada, e os valores de R_{TCD} /densidade após 360 dias se aproximaram. A partir das tendências observadas, pode ser que, para idades superiores a 360 dias, o resultado para as pastas com SAE sejam superiores aos obtidos para as pastas com EVA.

Independentemente disso, na Tabela 5 são apresentados os ganhos obtidos aos 360 dias de cura das amostras modificadas com látex em relação à referência.

Esses resultados estão de acordo com o que já foi apresentado por Beeldens (2002), que citou que a influência da modificação do cimento por látex é dupla:

- (a) a presença de tensoativos na fabricação dos látex retarda a hidratação do cimento; e
- (b) a formação de filme ou interação entre os hidratos de cimento e as partículas de látex aumenta a resistência da matriz aglutinante.

Tabela 5 - Ganho percentual de R_{TCD} /densidade em função do tipo e teor de látex

Amostra	Aumento na R_{TCD} /densidade (%)
EVA05	83
EVA10	111
EVA20	135
SAE05	76
SAE10	73
SAE20	113

Para Wang *et al.* (2005), apesar de haver um atraso inicial das reações de hidratação promovido pela incorporação do látex na composição, um maior grau de hidratação é encontrado mesmo depois de 90 dias. Sendo assim, pode-se dizer que os látex podem adiar a hidratação do cimento e atrasar a formação dos hidratos, porém, com o passar do tempo, a matriz é formada e há potencialização das propriedades mecânicas.

Absorção de água por capilaridade

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade, em função da relação látex/cimento. Para ambos os látex foram apresentados os resultados obtidos após curas em 28 e 360 dias.

As amostras de referência apresentaram $W = 0,67 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ e $W = 0,33 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ aos 28 e 360 dias respectivamente, o que representa diminuição de quase 50% na absorção de água com maior idade dos corpos de prova. À medida que a hidratação avança, ocorre aumento do volume ocupado pelos produtos hidratados e, conseqüentemente, há diminuição da porosidade (TAYLOR, 1997), o que dificulta a absorção de água por capilaridade. Sendo assim, pode-se dizer que há tendência natural de redução de W em função da idade de cura.

Todas as composições aditivadas apresentaram comportamento semelhante, com diminuição da absorção de água por capilaridade à medida que se aumentou o teor de látex. Essa alteração ocorreu independentemente da idade, mas foi observada exceção na amostra SAE05 aos 28 dias: nesta mesma idade, a amostra com EVA05 apresentou menor absorção, fato não observado após 360 dias.

Nas amostras modificadas com EVA, comparando-se os resultados aos 28 e 360 dias, não se verificaram alterações significativas, mesmo no caso da menor adição.

Nas amostras com estireno acrílico, comparando-se a redução na absorção de água aos 28 e aos 360

dias, notou-se alteração de cerca de 70% com utilização de 5% do látex, mas nos demais teores não foram observadas diferenças consideráveis.

De modo geral, os resultados convergem com o que fora descrito por Ohama (1995), para quem os efeitos de preenchimento e de vedação são refletidos na difusão reduzida de gases como ar, dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2) e vapor de água, bem como a menor absorção por capilaridade.

No caso da utilização das argamassas modificadas com látex como argamassa de acabamento, elas deverão atender idealmente, na ausência de normas brasileiras, à normalização europeia CEN/TC 139 - *Paints and Coating of The European Committee for Standardization* (EUROPEAN..., 1998), que descreve seus parâmetros para o coeficiente de absorção de água por capilaridade de acordo com a Tabela 6.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se dizer que os materiais avaliados se enquadraram em três classes conforme tal especificação, separadas de acordo com a idade de cura.

Após 28 dias:

Classe I – Impermeável à água: EVA10, EVA20, SAE10 e SAE20;

Classe II – Repelente à água: EVA05 e SAE05; e

Classe III – Resistente à água: Ref.

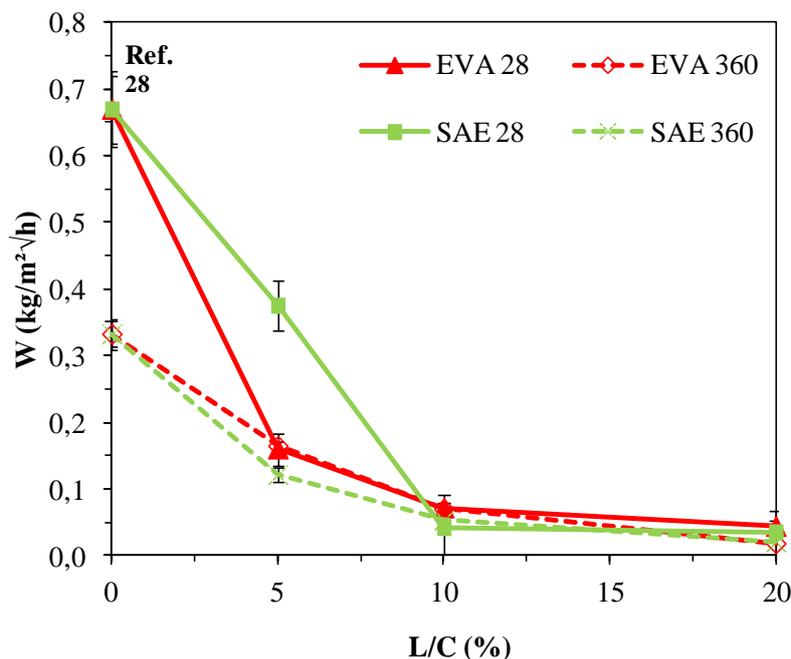
Após 360 dias:

Classe I – Impermeável à água: EVA10, EVA20, SAE10 e SAE20; e

Classe II – Repelente à água: Ref., EVA05 e SAE05.

Após 360 dias de cura, todas as amostras enquadraram-se nas mesmas classes avaliadas após 28 dias, exceto a Ref., que passou de resistente à água para repelente à água, devido ao aumento de volume dos hidratos do cimento e consequente redução da porosidade e dos canais permeáveis.

Figura 8 - Coeficiente de absorção de água por capilaridade (W), em função do teor de látex e das idades de 28 e 360 dias

Tabela 6 - Coeficiente de absorção de água por capilaridade (W) segundo (CEN/TC139) - *Paints and Coating of The European Committee for Standardization*

Coeficiente de absorção de água – W		
W (kg/m².h ^{1/2})	Classificação	Classe
Menor que 0,1	Impermeável à água	I
Entre 0,1 e 0,50	Repelente à água	II
Entre 0,51 e 2,0	Resistente à água	III
Maior que 2,0	Permeável à água	IV

Conforme a norma DIN 18558 (GERMAN..., 1985) – *Synthetic resin plasters*, o coeficiente de capilaridade deve ser menor que $0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$. Esse critério, na Alemanha, é considerado para os revestimentos de ligantes sintéticos quando se destinam à aplicação em edificações localizadas em regiões com precipitações anuais acima de 800 mm, em regiões com índice de precipitação inferior, mas com alta incidência de ventos e, também, em edifícios altos e expostos.

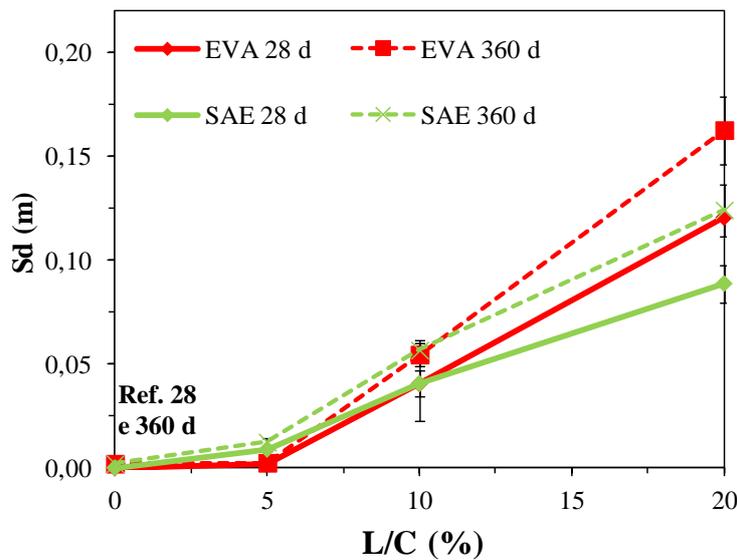
Quando os revestimentos de ligantes sintéticos se destinam à aplicação em edificações localizadas em regiões caracterizadas por precipitações anuais entre 600 mm e 800 mm e/ou regiões com índice de precipitação superior, mas em locais bem protegidos de edifícios altos e casas térreas mesmo expostas, o valor do coeficiente de absorção de água pode ser maior, variando de 0,51 a 2,0 $\text{kg/m}^2\text{h}^{1/2}$, desde que sejam garantidas as condições necessárias para a evaporação do vapor de água.

Deve ser salientado que a referida norma se refere a revestimentos de ligantes sintéticos, e neste trabalho são apresentados resultados obtidos em composição cimento-látex. Entretanto, como não há uma referência normativa para tais composições, os valores foram tomados somente com base em critério comparativo.

Permeabilidade ao vapor

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor, em função da relação látex/cimento. Para ambos os látex foram apresentados os resultados obtidos após curas em 28 e 360 dias.

As amostras de referência praticamente não apresentaram resistência à saída do vapor de água ($S_{d \text{ 28 dias}} = 0,0 \text{ m}$ e $S_{d \text{ 360 dias}} = 0,05 \text{ m}$) devido ao caráter poroso das matrizes cimentícias e à diminuição da porosidade com o passar do tempo.

Figura 9 - Camada de ar equivalente (S_d) em função do teor de látex

Nas amostras modificadas com látex, tanto o EVA como o SAE dificultaram a saída do vapor de água de forma exponencialmente proporcional ao teor de látex. Comparando-se os dois látex, pode-se dizer que, com 5% de adição, o EVA apresenta menor permeabilidade ao vapor que o SAE; e, com 20%, o resultado observado é o inverso.

As argamassas de acabamento, quando analisadas pela espessura da camada de ar equivalente à difusão do vapor (S_d), são classificadas a partir da normalização europeia CEN/TC 139 (EUROPEAN..., 1998), de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 7.

Sendo assim, pode-se dizer que os materiais avaliados se enquadraram em duas classes, separadas de acordo com a idade de cura.

Após 28 dias:

Classe I – permeável ao vapor: Ref., EVA05, EVA10, SAE05, SAE10 e SAE20; e

Classe II – semipermeável ao vapor: EVA20.

Após 360 dias:

Classe I – permeável ao vapor: Ref., EVA05, EVA10, SAE05 e SAE10; e

Classe II – semipermeável ao vapor: EVA20 e SAE20.

Absorção de água por capilaridade (W) vs Resistência à saída ao vapor (S_d)

No caso de as argamassas modificadas com látex serem utilizadas como argamassa de acabamento em fachadas, elas devem proteger a edificação da ação das intempéries. A importância da

estanqueidade à água justifica-se por ser uma função dos revestimentos de ligantes minerais ou sintéticos em minimizar os efeitos associados à incidência de água da chuva, traduzidos nas infiltrações para o interior da edificação ou no interior da parede. Resulta como contribuição na proteção dos elementos de vedação e estruturais contra a deterioração e na salubridade dos ambientes internos da edificação. Apesar de a estanqueidade à água de uma parede não ser função somente dos revestimentos, estes devem proporcionar proteção ao substrato ante a ação direta da chuva, e, havendo a penetração de água através do revestimento, este deverá ter propriedade tal que facilite a evaporação rápida da água infiltrada (BECERE, 2007).

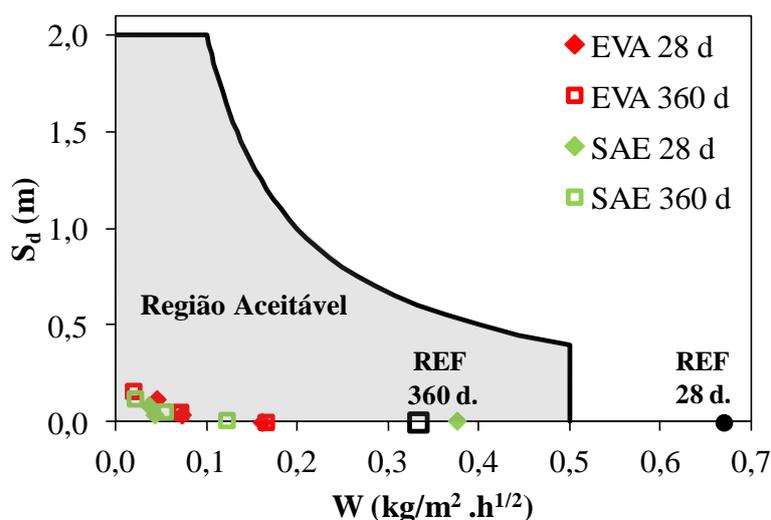
Todavia, inexistente no Brasil norma que estabeleça critérios mínimos de desempenho para os revestimentos de ligantes minerais ou sintéticos. Dessa forma, são apresentados critérios de referência que possam contribuir na avaliação do desempenho do produto ensaiado.

De acordo com a norma europeia CEN/TC 139 (EUROPEAN..., 1998), o produto entre W e S_d não deve ser superior a $0,2 \text{ kg/m.h}^{1/2}$, devendo o coeficiente de absorção por capilaridade apresentar valor menor que ou igual a $0,5 \text{ kg/m}^2.\text{h}^{1/2}$, e a resistência a saída de vapor, valor inferior a 2,0 m (KÜNZEL; KÜNZEL; HOLM, 2004).

Isso implica, por exemplo, que, no caso de uma argamassa de acabamento apresentar elevada absorção de água, ela deve, conseqüentemente, compensar esse efeito com uma redução na resistência à saída do vapor, seguindo sempre os parâmetros estabelecidos na norma.

Tabela 7 - Saída do vapor de água (S_d) segundo CEN/TC 139 (EUROPEAN..., 1998) - *Paints and Coating of The European Committee for Standartization*

Saída de vapor d'água – S_d		
S_d (m)	Classificação	Classe
Menor que 0,1	Permeável ao vapor d'água	I
Entre 0,1 e 0,50	Semipermeável ao vapor d'água	II
Entre 0,51 e 2,0	Resistente ao vapor d'água	III
Maior que 2,0	Impermeável ao vapor d'água	IV

Figura 10 - Relação $W \times S_d$ das amostras avaliadas com 28 e 360 dias de idade - a área destacada ilustra a região aceitável

Quando os revestimentos de ligantes minerais ou sintéticos se destinam à aplicação em edificações localizadas em regiões caracterizadas por precipitações anuais entre 600 mm e 800 mm e/ou regiões com índice de precipitação superior, mas em locais bem protegidos de edifícios altos e casas térreas mesmo expostas, o valor do coeficiente de absorção de água $W_{(24h)}$ pode ser maior, variando de 0,5 a 2,0 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$) desde que sejam garantidas as condições necessárias para a evaporação do vapor de água. Os materiais avaliados neste trabalho apresentaram produto $W \times S_d$ conforme ilustrado na Figura 10, sendo a área em destaque a região desejada (KÜNZEL; KÜNZEL; HOLM, 2004).

Todas as amostras se enquadraram nesse padrão, sendo observados resultados inferiores a $0,20 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$, com exceção da amostra de referência aos 28 dias, que, apesar de apresentar o produto $W \times S_d$ nos limites estabelecidos por norma, teve $W > 0,50 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$. Isso se explica pelo caráter naturalmente poroso da matriz cimentícia sem adição de látex.

Conclusões

De modo geral, as pastas de cimento modificadas com látex EVA (pó) e SAE (emulsão) apresentam melhores resultados quando comparadas à referência.

Comparando-se os valores de resistência mecânica para cada tipo de látex em função de seu teor, pode-se afirmar que, após 3 dias de cura, houve relação inversa entre a resistência à tração por compressão diametral e o calor liberado na mesma idade:

(a) com a variação da adição de EVA de 5% para 20%, houve uma redução de 10% no calor liberado, que resultou em uma diminuição de 12% na R_{TCD} ; e

(b) com a variação da adição de SAE de 5% para 20%, houve redução de 65% na liberação de calor, que ocasionou uma queda de mais de 55% na R_{TCD} .

No entanto, em todos os casos, exceto na composição com SAE20, os valores de resistência mecânica foram maiores que para a referência utilizada.

Com o aumento do tempo de cura, as composições com o EVA apresentaram tendências semelhantes, com aumento expressivo em todas as idades e em todos os teores de adição.

No caso do SAE, houve uma relação inversa entre o teor de látex e a relação R_{TDC} /densidade até 90 dias de cura, mas após 360 dias essa relação passou a ser diretamente proporcional ao teor de látex polimérico.

Independentemente do tipo ou teor de látex, após 360 dias de cura houve ganhos superiores a 70% na R_{TDC} /densidade em relação à amostra de referência.

A absorção de água por capilaridade diminui em função do aumento do teor de látex, transformando a matriz porosa do cimento, que até 360 dias de cura é repelente à água, e impermeável à água em função do teor e do tipo adotado.

A amostra de referência é porosa e classificada como permeável ao vapor até 360 dias de cura. Porém, dependendo da quantidade de látex, a amostra pode ser classificada como semipermeável segundo a norma técnica europeia.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C114**: standard test methods for chemical analysis of hydraulic cement. West Conshohocken, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 17**: cimento Portland: análise química: método de arbitragem para a determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12989**: cimento Portland branco: especificação. Rio de Janeiro, 1993.
- BEELDENS, A. **Influence of Polymer Modification on the Behavior of Concrete Under Severe Conditions**. Leuven, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Katholieke Universiteit, Leuven, 2002.
- BECERE, O. **Revestimentos de Ligantes Sintéticos**: proposta de métodos de ensaios. São Paulo, 2007. 71 f. Dissertação (Mestrado em Habitação) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2007.
- BRITISH STANDARD. **ES EN ISO 15148**: higrothermal performance of buildings materials and products: determination of water absorption coefficient by partial immersion. 2002.
- BRITISH STANDARD. **ES EN ISO 12572**: higrothermal performance of buildings materials and products: determination of water vapour transmission properties. 2001.
- CINCOTTO, M. A. **Reações de Hidratação e Pozolânicas**. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN/TC 139**: paints and coating of the European Committee for Standardization. 1998.
- GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDIZATION. **DIN 18558**: synthetic resin plasters; terminology, requirements, application. Berlin, 1985.
- JINGANG, W. *et al.* Study of Cement Mortars Modified by Emulsifier-Free Latexes. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, p. 920-925, 2005.
- KNAPEN, E. **Microstructure in Cement Mortars Modified With Water-Soluble Polymers**. Leuven, 2007. Tese (Doutorado) – Katholieke Universiteit, Leuven, 2007.
- KÜNZEL, H. M.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. **Rain Protection of Stucco Facades**. Fraunhofer: ASHRAE, 2004.
- LUTZ, H. **Modificação de Rebocos Minerais Com Aglutinantes Poliméricos de Ação Hidrófuga**. Burghausen, Wacker, 2001. Boletim Técnico.
- MERLIN, F. *et al.* Adsorption and Heterocoagulation of Nonionic Surfactants and Latex Particles on Cement Hydrates. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 281, n. 1, 2005.
- OHAMA, Y. **Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars**: properties and process. Tokio: Technology Koriyama, 1995.
- ROMANO, R. C. O. *et al.* Evaluation of Transition From Fluid to Elastic Solid of Cementitious Pastes With Bauxite Residue Using Oscillation Rheometry and Isothermal Calorimetry. **Applied Rheology**, n. 23, p. 23830, 2013.
- SILVA, D. A.; MONTEIRO, P. J. M. The Influence of Polymers on the Hydration of Portland Cement Phases Analyzed by Soft X-Ray Transmission Microscopy. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 1501-1507, 2006.

SU, Z.; BIJEM, J. M. J. M.; LARBI, J. A.
Influence of Polymer Modification on the
Hydration of Portland Cement. **Cement and
Concrete Research**, v. 21, p. 242-250, 1991.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. New
York: Thomas Telford, 1997.

WANG, J. *et al.* Study of Cement Mortars
Modified by Emulsifier-Free Latexes. **Cement
and Concrete Composites**, p. 920-925, may,
2005.

Agradecimentos

Agradecemos ao IPT, pela realização do ensaio do
teor de álcalis, e a Panalytical, pelo ensaio de
DRX.

Carlos Eduardo Carbone

Artspray Engenharia de Revestimentos | Rua Manoel Alves Garcia, 130, Jardim São Luiz | Jandira - SP - Brasil | CEP 06618-010 |
Tel.: (11) 4707 6450 | E-mail: carbone@artspray.com.br

Hudson Santos

Artspray Engenharia de Revestimentos | E-mail: engenharia@artspray.com.br

Roberto Cesar de Oliveira Romano

Escola Politécnica | Universidade de São Paulo | Av. Professor Almeida Prado, trav. 2, 83, Cidade Universitária | São Paulo - SP - Brasil |
CEP 05424-970 | Tel.: (11) 3091-5248 | E-mail: rcorjau@gmail.com

Rafael Giuliano Pileggi

Escola Politécnica | Universidade de São Paulo | E-mail: rafael.pileggi@gmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br