

OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS BASEADOS EM HIDROGÉIS E CIMENTO PORTLAND**Jefferson C. dos Santos^a, Mauro M. Tashima^a, Marcia R. de Moura^b e Fauze A. Aouada^{b,*}**^aDepartamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 15385-000 Ilha Solteira – SP, Brasil^bDepartamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 15385-000 Ilha Solteira – SP, Brasil

Recebido em 26/05/2015; aceito em 24/09/2015; publicado na web em 22/01/2016

OBTAINMENT OF HYBRID COMPOSITES BASED ON HYDROGEL AND PORTLAND CEMENT. In this study, a novel hybrid composite based on biodegradable hydrogel and Portland cement with promising technological properties was reported. In the first step, a full 2^3 with central point factorial design was utilized to obtain the enhanced polyacrylamide-carboxymethylcellulose hydrogel compositions. A mathematical model was devised, indicating that the 3 main variables were significant and the AAm and MBAAm variables positively contributed to the mode and showing that the CMC variable had the opposite contribution. In the second step, these compositions were mixed with Portland cement to obtain the hybrid composites. The presence of cement improved the mechanical properties of polymeric matrices, and electronic microscopic micrographics revealed that the hydrogels were well adhered to the cement phase and no phase separation between hydrogel and cement was detected. Finally, using the energy dispersive X-ray technique, the elements Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca and Fe were detected in the polymeric matrix, consistent with the hybrid composite formation.

Keywords: factorial design; hybrid composites; hydrogel; Portland cement; mechanical property.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, novos materiais vêm sendo sintetizados e caracterizados com o objetivo de melhorar a evolução da sociedade. Na engenharia civil, em particular no setor da construção civil, isso não é diferente: o uso de nanomateriais, criação de novos aditivos plastificantes, novos tipos de cimentos.¹⁻³

O desenvolvimento desses novos materiais no âmbito da construção civil vem permitindo a produção de concretos especiais que possam atender as diferentes necessidades das obras atuais, como, por exemplo, aumento do tempo de pega, baixa relação água/aglomerante, etc.^{4,5} Neste contexto, é importante destacar que o desenvolvimento da indústria de aditivos químicos é um dos grandes responsáveis por possibilitar a produção dos concretos especiais. Foram os aditivos a base de melanina e, posteriormente, os policarboxilatos os grandes responsáveis pela produção de concretos de alta resistência com baixas relações água/aglomerante (*a/agl.* menor que 0,30).⁶

Nesse sentido, alguns estudos apontam para um futuro promissor sobre o uso de hidrogéis em matrizes a base de cimento.⁷⁻⁹ Os hidrogéis¹⁰⁻¹⁴ são materiais de origem polimérica que são capazes de absorver grande quantidade de água. Sua estrutura está constituída por uma ou mais redes poliméricas tridimensionalmente estruturadas e reticuladas quimicamente ou fisicamente. Sabendo que o hidrogel libera água controladamente ao longo do tempo, o mesmo pode contribuir com a hidratação do cimento,^{15,16} pois a água utilizada no amassamento do cimento pode iniciar uma reação química de hidratação do cimento, resultando na formação de uma pasta e posteriormente um gel dos produtos de hidratação do cimento.

A compatibilidade de uma matriz inorgânica (cimento Portland) como uma matriz orgânica (hidrogel) é um tema de grande discussão. Segundo Ohama,¹⁷ existe um confinamento das partículas poliméricas nos vazios capilares da matriz inorgânica, causando a formação de um filme polimérico.¹⁸ Além disso, de maneira geral, propriedades

de materiais cimentícios, como de natureza mecânica (resistências e módulo de elasticidade), permeabilidade e durabilidade estão diretamente relacionadas com a porosidade destes materiais. Dessa forma, o conhecimento e o controle da porosidade de estruturas confeccionadas a partir de tal classe de materiais podem contribuir de maneira eficiente para melhorar a qualidade dessas estruturas e, por conseqüência a durabilidade final da construção.

O presente trabalho se propõe a estudar a viabilidade de uso de hidrogéis constituídos por poli(acrilamida) (PAAm) e polissacarídeo carboximetilcelulose (CMC) em matrizes a base de cimento Portland. Para isso, foi realizado um planejamento fatorial 2^3 com ponto central no efeito dos fatores (concentração de monômero acrilamida, agente de reticulação N'-N-metilenobisacrilamida e polissacarídeo carboximetilcelulose) na capacidade de absorção de água dos hidrogéis. Numa segunda etapa, foi estudada a influência do hidrogel no comportamento mecânico e microestrutural do composto formado, verificando a compatibilidade do mesmo com matrizes a base de cimento Portland.

PARTE EXPERIMENTAL**Síntese dos hidrogéis e construção do planejamento fatorial**

Os hidrogéis constituídos por poli(acrilamida) (PAAm) e polissacarídeo carboximetilcelulose (CMC) (Synth, P.A.) foram obtidos por meio de polimerização química do monômero acrilamida (AAm) (Fluka, $\geq 98\%$) em solução aquosa contendo CMC, iniciada por persulfato de sódio (Sigma-Aldrich, $\geq 98\%$), agente de reticulação N'-N-metilenobisacrilamida (MBAAm) (Sigma-Aldrich, 99%) e catalisador da reação N,N,N',N'-tetrametil-etilenodiamina (TEMED) (Sigma-Aldrich, 99%) seguindo procedimento descrito por Aouada e colaboradores.¹⁹ As diferentes composições dos hidrogéis foram obtidas utilizando planejamento fatorial completo 2^3 com ponto central em triplicata totalizando 27 experimentos, em três níveis de concentração de monômeros AAm % (m/v) (nível inferior ou

*e-mail: faouada@yahoo.com.br

- 1 = 5,0; ponto central ou 0 = 7,5; nível superior ou + 1 = 10); MBAAm mol% (- 1 = 1; 0 = 1,5; + 1 = 2) e CMC % (m/v) (- 1 = 0,25; 0 = 0,5; + 1 = 0,75), Tabela 1.

Tabela 1. Matriz planejamento utilizada na construção do planejamento fatorial

Experimentos	AAm	MBAAm	CMC
I	- ou (-1)	- ou (-1)	- ou (-1)
II	+ ou (+1)	- ou (-1)	- ou (-1)
III	- ou (-1)	+ ou (+1)	- ou (-1)
IV	+ ou (+1)	+ ou (+1)	- ou (-1)
V	- ou (-1)	- ou (-1)	+ ou (+1)
VI	+ ou (+1)	- ou (-1)	+ ou (+1)
VII	- ou (-1)	+ ou (+1)	+ ou (+1)
VIII	+ ou (+1)	+ ou (+1)	+ ou (+1)
IX	0	0	0

Determinação do grau de intumescimento (Q)

As propriedades hidrofílicas foram analisadas por meio de medidas de grau de intumescimento.²⁰ As amostras secas foram pesadas e, em seguida, adicionadas em recipiente contendo água destilada/deionizada. Para cada gel, foram medidos o intumescimento de 3 amostras (triplicata) para 24 e 48 horas. Da razão da massa intumescida pela massa seca do gel, obtém-se o grau de intumescimento. Para construção do planejamento fatorial, utilizou o tempo de 48 horas como resposta do planejamento fatorial.

Obtenção das matrizes cimentícias contendo hidrogel

Com base nos resultados obtidos por meio de planejamento fatorial, foram moldados corpos de prova de 5 x 5 x 5 cm de pasta de cimento e/ou hidrogel. Sendo 6 amostras para cada caso, sem adição de hidrogéis e utilizando os hidrogéis que apresentaram maior e menor grau de intumescimento, em teor de 1% em relação à massa seca de cimento. O hidrogel foi triturado manualmente com uso de um pistilo e misturado ao cimento.

Para preparar a pasta de cimento, foi utilizado um misturador (argamassadeira de bancada) G.PANIZ, em velocidade mínima devido ao baixo volume de material trabalhado, cimento Portland Itaú CP II-Z, por ser o mais comum em obras urbanas, e uma relação água/cimento de 0,4. Os materiais foram adicionados e misturados por 3 minutos. Em seguida, a mistura foi vertida nos moldes e adensada em mesa vibratória para eliminar bolhas de ar que possam afetar os testes de resistência. Os corpos de prova foram curados em câmara úmida (umidade relativa aproximada de 95%) à temperatura ambiente.

Para obtenção dos corpos de provas supracitados foram inicialmente testadas 2 diferentes metodologias utilizando o molde descrito na Figura 1Sa. Os primeiros testes foram realizados com o hidrogel seco e resultou em fissuras nos corpos de prova (Figura 1Sb) devido à alta expansão do hidrogel com a absorção de água. Como os seguintes, feitos com o hidrogel já intumescido, não apresentaram fissuras visíveis superficialmente, foram utilizados para as demais caracterizações (Figura 1Sc).

Caracterização das matrizes cimentícias contendo hidrogel

Inicialmente, as matrizes foram caracterizadas por meio de testes mecânicos de compressão utilizando o equipamento Emic DL30000N. Após a realização dos testes mecânicos de compressão,

foram feitas análises utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV), com as análises químicas das diferentes amostras estudadas por meio de espectroscopia de dispersão de energia de raios-X (EDX), no qual é acoplada ao microscópio MEV EVO Carl Zeiss LS15.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os hidrogéis constituídos por PAAm e CMC foram caracterizados inicialmente por meio de planejamento fatorial completo 2³ com ponto central (ou ponto médio), em três níveis de concentrações de AAm, MBAAm e CMC. O principal objetivo do uso do planejamento foi avaliar a influência desses fatores bem como interações entre os mesmos nos valores da capacidade de absorção de água pelos hidrogéis. Na Tabela 1S são apresentados os valores das massas determinadas e utilizadas nas determinações do grau de intumescimento em 24 e 48 horas de estudo.

Nesse trabalho foi utilizado o programa Minitab²¹ para processamento dos dados, sendo que a partir desse foi possível obter gráficos e uma função matemática que relaciona o grau de intumescimento com as variáveis utilizadas. A partir disso, foi possível analisar quais variáveis foram estatisticamente significativas afetando na propriedade hidrofílica dos hidrogéis.

As análises dos gráficos de Pareto e de probabilidade normal dos efeitos padronizados são utilizadas para identificação da significância de cada variável principal e suas interações. Os resultados das variáveis e suas interações mostradas a direita da linha 2.1 do gráfico de Pareto dos efeitos padronizados (Figura 1) indicam que uma variável é estatisticamente significativa. Além disso, quanto mais distante dessa linha for a variável, mais significativa essa é. Pela análise da Figura 1, foi possível observar que as variáveis principais A, B, C e as interações de 2 ou 3 variáveis são todas estatisticamente significativas, contribuindo assim para a resposta grau de intumescimento.

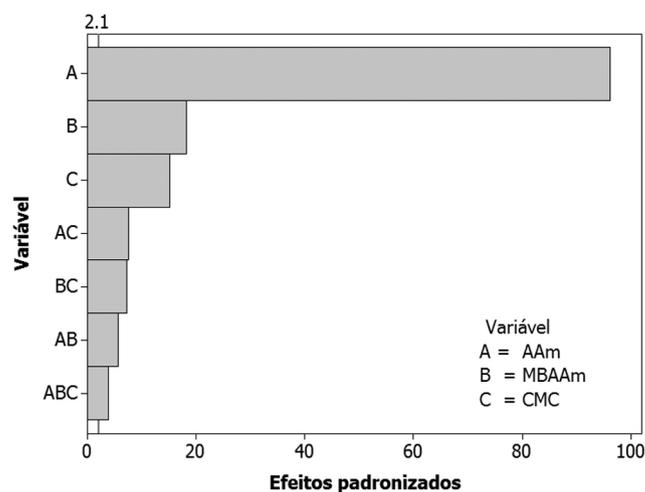


Figura 1. Gráfico de Pareto para os efeitos padronizados indicando a contribuição de cada fator na resposta grau de intumescimento

Para uma variável ser estatisticamente significativa, essa não deve estar inserida sobre a linha principal do gráfico de probabilidade normal dos efeitos padronizados, Figura 2. Se a variável estiver à direita dessa linha, essa contribui positivamente para a resposta grau de intumescimento. Quando a variável estiver à esquerda da linha, essa contribui negativamente para a resposta. Assim como no gráfico de Pareto, quanto mais distante da linha a variável estiver, mais significativamente essa contribui para a resposta grau de intumescimento.

Por meio das Figuras 1 e 2, nota-se que, apesar de todos os dados serem considerados significativos, a concentração de AAm

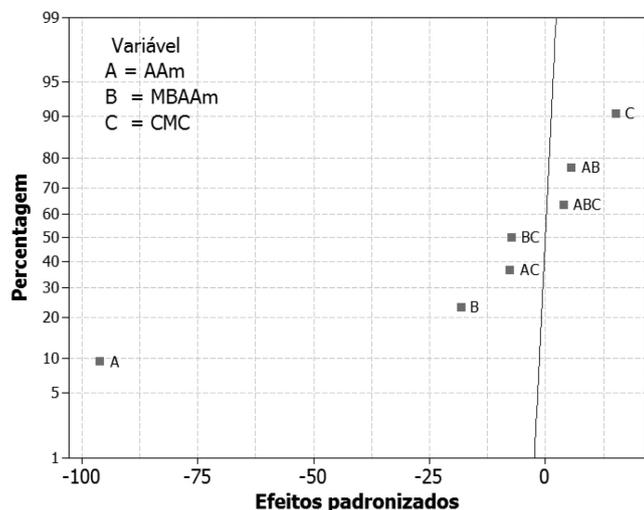


Figura 2. Gráfico de probabilidade normal dos efeitos padronizados indicando a contribuição de cada fator na resposta grau de intumescimento

é o principal fator a alterar o grau de intumescimento do hidrogel, fazendo-o decrescer consideravelmente. Esse efeito pode ser explicado pelo fato de que, quando se aumenta a concentração do monômero AAm do nível inferior para o nível superior do planejamento fatorial, as cadeias de PAAm se tornam mais rígidas e, conseqüentemente, um menor volume de água pode se acumular no seu interior. Isso contribui diretamente para a diminuição da hidrofiliçidade e capacidade de absorção de água dos hidrogéis.

O programa permite ainda realizar a análise da significância por meio da equação matemática (modelo) $y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$, na qual y é a resposta, b_0 é uma constante, b_i são os coeficientes dos fatores e X_i é o nível do i -ésimo fator.²² Neste trabalho, X_1 foi codificado como a concentração de AAm, X_2 como concentração de MBAAm e X_3 como concentração de CMC. O modelo obtido foi: $Q = 20,428 - 8,904 \text{ AAm} - 1,582 \text{ MBAAm} + 1,407 \text{ CMC} + 0,525 \text{ AAm} * \text{ MBAAm} - 0,706 \text{ AAm} * \text{ CMC} - 0,666 \text{ MBAAm} * \text{ CMC} + 0,359 \text{ AAm} * \text{ MBAAm} * \text{ CMC}$. Pode-se observar pelo modelo obtido que as variáveis AAm e MBAAm contribuem negativamente para o grau de intumescimento. Assim, maiores valores para AAm ou MBAAm, provocam aumento na densidade de cadeias poliméricas e no grau de reticulação dos hidrogéis, o que contribui para uma diminuição nos valores de Q . Por outro lado, a variável CMC contribui positivamente para a resposta. Dessa forma, o aumento da concentração dessa variável ocasiona aumento do grau de intumescimento. Isso está relacionado ao aumento dos grupamentos hidrofílicos presentes nas cadeias constituintes do polissacarídeo CMC.

Na Figura 3 são apresentadas as superfícies de respostas e de contorno para a resposta grau de intumescimento, considerando a combinação de 2 variáveis principais: AAm x MBAAm; AAm x CMC e MBAAm x CMC. Pela análise dessas superfícies, pode-se avaliar como a variação concomitante de 2 variáveis principais contribui para a resposta Q . A utilização do ponto central como um terceiro nível para cada variável estudada possibilitou a realização do estudo do fatorial por meio da Metodologia de Superfície de Respostas,²³⁻²⁵ no qual foi possível observar que todas as superfícies de respostas não são totalmente planas, apresentando ligeiras curvaturas, indicando que, para uma análise completa e confiável da resposta Q no limite de concentração analisado, a superfície de resposta deve ser considerada. Isso ocorre porque o modelo matemático considera apenas a interação linear da resposta e, como mostrado pela superfície de resposta, principalmente em torno do ponto médio, os valores de Q

obtidos pelo modelo matemático e pela superfície de resposta podem apresentar pequenas discrepâncias.

Com o objetivo de avaliar a influência do hidrogel nas propriedades de matrizes a base de cimento, inicialmente foram testados procedimentos de mistura utilizando os hidrogéis do planejamento fatorial IV e V (escolhidos a partir do estudo por planejamento fatorial), nos estados secos e intumescidos. Tais formulações foram escolhidas, pois as mesmas apresentaram respectivamente os menores e os maiores valores de absorção de água (Tabela 1S).

Após a realização da mistura física dos materiais, não foi possível observar nenhuma diferença significativa em relação à composição dos hidrogéis, ou seja, ambas as misturas de cimento-hidrogel do planejamento fatorial IV e V apresentaram a mesma aparência física. A partir desse teste inicial, foi investigado se o estado físico (intumescido ou seco) do hidrogel influenciaria no procedimento de mistura para obtenção dos compósitos. Devido às dificuldades já descritas no procedimento experimental, a mistura cimento-hidrogel intumescido apresentou maior potencialidade, sendo adotado então essa metodologia para obtenção de todos os compósitos.

Os resultados obtidos com os testes mecânicos de compressão dos corpos de prova também mostram resultados iniciais satisfatórios. Os resultados dos testes podem ser observados na Figura 4.

Para os dois casos com a adição do hidrogel, a resistência se manteve ainda próxima à média obtida com o controle, não representando um impedimento do uso devido à diminuição da resistência. Como o hidrogel absorve água e a libera de forma controlada, a menor resistência inicial pode indicar que o hidrogel controla o período de cura, pois, para os corpos de prova rompidos com 28 dias, não houve a mesma queda na resistência. Adicionalmente, se forem considerados apenas os valores médios de tensão máxima de ruptura, observa-se que, para 28 dias, a presença dos hidrogéis aumentou a resistência a compressão de 36,6 MPa (traço controle) para aproximadamente 39 MPa. Isso pode ser um indício de que a presença da estrutura polimérica pode ter mudado a cinética de hidratação do cimento, resultando em maior aderência no estado endurecido. Outro indício da liberação de água controlada pelos hidrogéis pode ser constatado pelo fato de que o tempo de exposição na câmara úmida influenciou fortemente as propriedades mecânicas apenas das matrizes contendo hidrogel. Assim, a água disponibilizada de maneira mais controlada proporcionou o aumento da resistência mecânica desses compósitos. Provavelmente, a liberação de água de amassamento de forma mais controlada também influencia as reações químicas iniciadas pela hidratação dos componentes constituintes do cimento tipo Portland, consistindo basicamente na formação do silicato de cálcio hidratado, aluminato de cálcio hidratado, etringita, monossulfaluminato de cálcio hidratado e do hidróxido de cálcio, a partir da reação dos compostos do cimento (silicato dicálcico $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_2S , silicato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_3S , aluminato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A e ferro aluminato tetracálcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF) com a água.²⁶ Dessa forma, após o contato do cimento em sua forma anidra, a água inicia instantaneamente a formação de gipsita seguindo a reação:



À medida que a reação acima evolui, a água de hidratação aumenta e a livre se torna cada vez menos disponível, o que contribui para diminuir o volume do *bulk* do cimento (nesse caso do compósito cimento-hidrogel) e, conseqüentemente, em um menor volume relativo, os cristais formados pelo processo de hidratação tendem a se organizar melhor, o que reflete na diminuição da porosidade. Por sua vez, essa diminuição da porosidade contribui para aumento da resistência mecânica. Portanto, acredita-se que a presença do hidrogel esteja contribuindo para que a água livre fique disponível

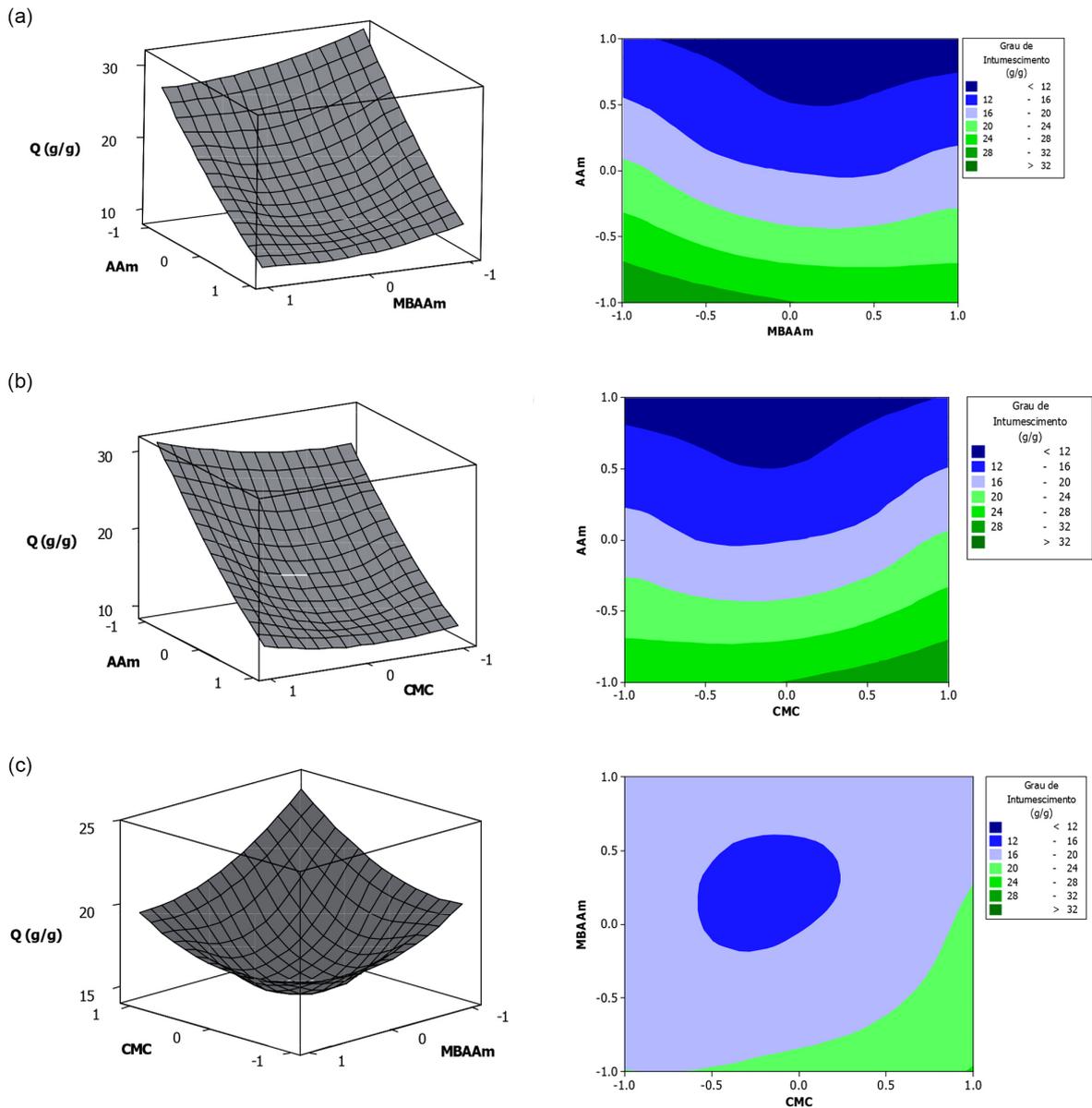


Figura 3. Superfícies de resposta e de contorno da resposta grau de intumescimento (Q) para combinações das variáveis: (a) AAm e MBAAm; (b) AAm e CMC e (c) MBAAm e CMC

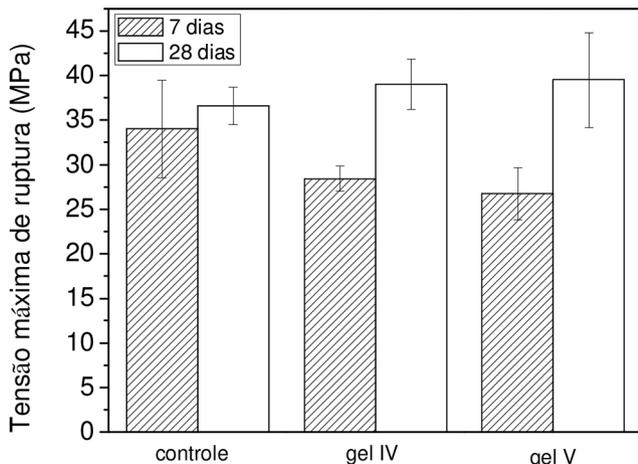


Figura 4. Propriedade mecânica de compressão da matriz de cimento (controle) e das matrizes cimentícias contendo 2 formulações de hidrogéis para 7 ($n = 6$) e 28 ($n = 3$) dias, onde n corresponde ao número de corpos de provas

por um intervalo de tempo maior e, por sua vez, esse fato esteja contribuindo para aumento das propriedades mecânicas dos compósitos estudados aqui.

Na Figura 5 são apresentadas micrografias obtidas por MEV do hidrogel puro, cimento puro e dos corpos de provas obtidos a partir da adição ao cimento dos géis fatorial IV (c) e fatorial (V). Ressalta que está sendo mostrado apenas 1 micrografia do hidrogel puro sem discrimina-lo como gel fatorial IV ou V pois as imagens de ambos foram bastante semelhantes. É possível observar que os hidrogéis possuem morfologia com presença de poros bem definidos homogeneamente distribuídos (Figura 5a). Nota-se também na morfologia do cimento (Figura 5b) a presença de cristais de hidróxido de cálcio (cristais hexagonais) e cristais de monossulfato. Não foi possível identificar com clareza a presença do hidrogel no compósito. Isso pode estar provavelmente relacionado à taxa de 1% de hidrogel em relação à massa seca de cimento. Apesar da não identificação das fases inorgânica (cimento) e polimérica-orgânica (hidrogel) nas imagens, aparentemente o compósito não apresentou incompatibilidade e nem separação de fases.

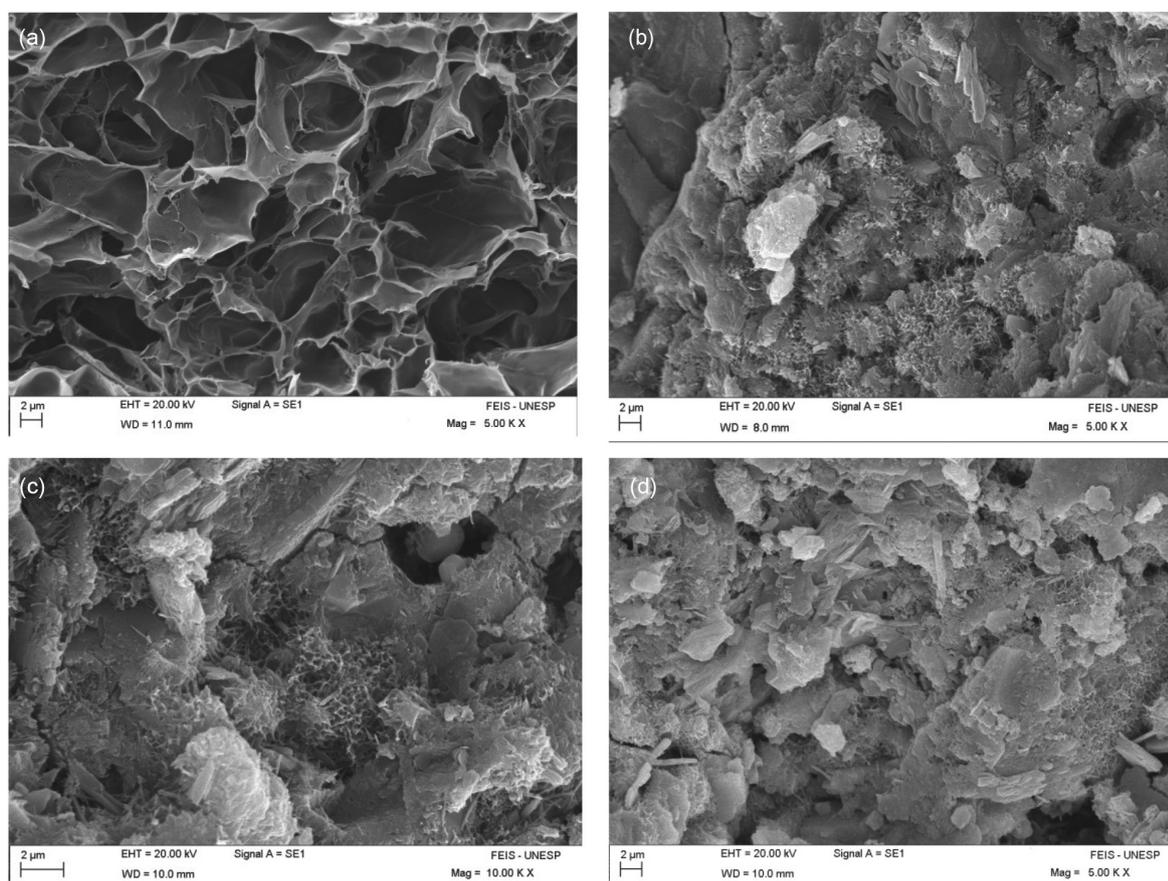


Figura 5. Micrografias obtidas por MEV do hidrogel puro (a) do cimento puro (b) e dos corpos de prova obtidos a partir da adição dos géis fatorial IV (c) e fatorial (V) (d)

Tabela 2. Análises de EDX para a matriz controle e dos compósitos baseados em cimento e hidrogel polimérico (sendo os valores médios das amostras IV e V)

Elemento	Hidrogel puro		Cimento puro		Cimento + hidrogel IV		Cimento + hidrogel V	
	% em peso	% atômica	% em peso	% atômica	% em peso	% atômica	% em peso	% atômica
C	46,60 ± 0,93	52,11 ± 0,99	4,05 ± 0,56	6,78 ± 0,79	4,71 ± 0,18	7,96 ± 0,21	5,40 ± 0,27	9,01 ± 0,46
N	24,79 ± 0,19	23,79 ± 0,24	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
O	28,62 ± 0,74	24,11 ± 0,60	56,59 ± 2,36	71,36 ± 1,17	54,6 ± 1,42	69,27 ± 0,82	55,13 ± 0,60	69,13 ± 0,44
Na	ND*	ND*	ND*	ND*	0,30 ± 0,04	0,27 ± 0,04	0,30 ± 0,09	0,26 ± 0,08
Mg	ND*	ND*	1,49 ± 0,01	1,23 ± 0,03	1,76 ± 0,25	1,47 ± 0,19	1,52 ± 0,40	1,26 ± 0,32
Al	ND*	ND*	1,41 ± 0,16	1,05 ± 0,10	1,39 ± 0,02	1,04 ± 0,00	1,39 ± 0,09	1,03 ± 0,07
Si	ND*	ND*	6,19 ± 0,06	4,45 ± 0,07	6,16 ± 0,16	4,45 ± 0,05	6,00 ± 0,53	4,29 ± 0,37
S	ND*	ND*	0,66 ± 0,02	0,41 ± 0,00	0,55 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,51 ± 0,04	0,32 ± 0,03
K	ND*	ND*	0,18 ± 0,01	0,10 ± 0,01	1,88 ± 0,50	0,98 ± 0,28	1,75 ± 0,32	0,90 ± 0,17
Ca	ND*	ND*	27,85 ± 3,10	14,04 ± 1,92	26,8 ± 1,32	13,57 ± 0,86	26,44 ± 1,02	13,24 ± 0,54
Fe	ND*	ND*	1,61 ± 0,10	0,59 ± 0,05	1,84 ± 0,16	0,67 ± 0,06	1,57 ± 0,19	0,57 ± 0,07

* ND = elemento não detectado.

As análises obtidas a partir da técnica de EDX (Tabela 2) não mostraram alteração significativa na matriz controle com a adição dos hidrogéis. Apenas, um pequeno incremento no elemento carbono foi observado após a adição dos hidrogéis poliméricos. Porém, como tal incremento foi sutil, não se pode concluir que tal fenômeno está relacionado à presença do hidrogel ou apenas à falta de sensibilidade da técnica, visto que não existe um consenso na comunidade científica que essa técnica seja realmente quantitativa, ou apenas qualitativa. No entanto, observa-se claramente a presença dos elementos Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca e Fe nas amostras contendo cimento-hidrogel. Como tais elementos não foram identificados na matriz polimérica,

como esperado, acredita-se que esses são provenientes do cimento no compósito.

CONCLUSÃO

Foi proposta neste trabalho uma metodologia eficiente para preparação de compósitos baseados em hidrogéis poliméricos biodegradáveis e cimento Portland. Para isso, inicialmente foi realizado um estudo detalhado por planejamento fatorial da capacidade de absorção de água pelos hidrogéis biodegradáveis. Por meio dos resultados obtidos foi possível analisar a significância de cada variável principal

e suas interações na resposta grau de intumescimento. O modelo matemático obtido, $Q = 20,428 - 8,904 \text{ AAm} - 1,582 \text{ MBAAm} + 1,407 \text{ CMC} + 0,525 \text{ AAm} * \text{ MBAAm} - 0,706 \text{ AAm} * \text{ CMC} - 0,666 \text{ MBAAm} * \text{ CMC} + 0,359 \text{ AAm} * \text{ MBAAm} * \text{ CMC}$, indicou que a variável AAm foi a mais significativa para o modelo. Por meio de planejamento fatorial, foi possível também selecionar 2 formulações de hidrogéis para os estudos de compatibilidade e obtenção de matrizes cimentícias reforçadas com hidrogel polimérico. Os resultados de propriedade mecânica e morfológica demonstraram que a presença da fase polimérica não prejudica as propriedades da matriz cimentícia (controle), sendo que uma pequena melhora na propriedade mecânica tensão máxima de ruptura foi observada após a adição do hidrogel. Portanto, tais compósitos apresentam potencialidade tecnológica, o que poderá ser constatada no futuro após testes adicionais.

MATERIAL SUPLEMENTAR

No material suplementar, disponível gratuitamente em <http://quimicanova.s bq.org.br> na forma de arquivo PDF, está apresentado na Figura 1S um esquema representando o molde utilizado na preparação dos corpos de provas (Figura 1Sa) utilizados nas medidas de propriedade mecânica de ruptura, e os respectivos corpos de provas obtidos a partir da adição dos hidrogéis nos estados intumescido (Figura 1Sb) e seco (Figura 1Sc). Na Tabela 1S são apresentados os valores de dos hidrogéis nos estados seco e intumescido após 24 h (Q_{24h}) e após 48 h (Q_{48h}) de intumescimento em água destilada utilizados na construção do planejamento fatorial 2^3 com ponto central.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Pibic-Unesp, ao CNPq e à Fapesp pelas bolsas concedidas e pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- Schneider, M.; Romer, M.; Tschudin, M.; Bolio, H.; *Cem. Concr. Res.* **2011**, *41*, 642.
- Shi, C.; Fernández Jiménez, A.; Palomo, A.; *Cem. Concr. Res.* **2011**, *41*, 750.
- Hussain, H. K.; Liu, G. W.; Yong, Y. W.; *Construction and Building Materials* **2014**, *50*, 200.
- Li, L. G.; Kwan, A. K. H.; *Construction and Building Materials* **2015**, *86*, 113.
- Adjoudj, M.; Ezziane, K.; Kadri, H.; Ngo, T.; Kaci, A.; *Construction and Building Materials* **2014**, *70*, 549.
- Aïctin, P. C.; *High-Performance concrete*, 2nd ed., Taylor & Francis: New York, 2004.
- Abd El-Rehim, H. A.; Hegazy, E. A.; Diao, D. A.; *Radiat. Phys. Chem.* **2013**, *85*, 139.
- dos Santos, L. A.; de Oliveira, L. C.; Rigo, E. C. S.; Carrodeguas, R. G.; Boschi, A. O.; de Arruda, A. C. F.; *Bone* **1999**, *25*, 99S.
- Liu, X.; Huang, C.; Zhuang, C.; Hsu, K.; Huang, C.; *J. Appl. Polym. Sci.* **2015**, *132*, 42175.
- Riyajan, S.; Sukhlaaied, W.; Keawmang, W.; *Carbohydr. Polym.* **2015**, *122*, 301.
- Zhang, D.; Zhou, W.; Wei, B.; Wang, X.; Tang, R.; Nie, J.; Wang, J.; *Carbohydr. Polym.* **2015**, *125*, 189.
- Snoeck, D.; Jensen, O. M.; De Belie, N.; *Cem. Concr. Res.* **2015**, *74*, 59.
- Fischer, M.; Vahdatzadeh, M.; Konradi, R.; Friedrichs, J.; Maitz, M. F.; Freudenberg, U.; Werner, C.; *Biomaterials* **2015**, *56*, 198.
- Aouada, F. A.; Moura, M. R.; Fernandes, P. R. G.; Rubira, A. F.; Muniz, E. C.; *Quim. Nova* **2014**, *37*, 1302.
- Snoeck, D.; Schaubroeck, D.; Dubruel, P.; De Belie, N.; *Constr. Build. Mater.* **2014**, *72*, 148.
- Mangadlaio, J. D.; Cao, P.; Advincula, R. C.; *J. Pet. Sci. Eng.* **2015**, *129*, 63.
- Ohama, Y.; *Handbook of polymer-modified concrete and mortar*. Noyes Publications: New Jersey, 1995
- Silva, D. A.; Roman, H. R.; *Ambiente Construído* **2002**, *2*, 31.
- Aouada, F. A.; Muniz, E. C.; Vaz, C. M. P.; Mattoso, L. H. C.; *Quim. Nova* **2009**, *32*, 1482.
- Stajčić, A.; Nastasović, A.; Stajčić-Trošić, J.; Marković, J.; Onjia, A.; Radovanović, F.; *J. Environ. Chem. Eng.* **2015**, *3*, 453.
- Boamah, P. O.; Zhang, Q.; Hua, M.; Huang, Y.; Liu, Y.; Wang, W.; Liu, Y.; *Carbohydr. Polym.* **2014**, *110*, 518.
- Ko, W.; Chang, C.; Wang, H.; Wang, S.; Hsieh, C.; *Food Chem.* **2015**, *172*, 497.
- Haldorai, Y.; Rengaraj, A.; Ryu, T.; Shin, J.; Huh, Y. S.; Han, Y.; *J. Mater. Sci. Eng. B* **2015**, *195*, 20.
- Liu, Q.; Li, R.; Fang, T.; *Chem. Eng. J.* **2015**, *270*, 535.
- Hammi, K. M.; Jdey, A.; Abdelly, C.; Majdoub, H.; Ksouri, R.; *Food Chem.* **2015**, *184*, 80.
- Gonçalves, J. P.; Filho, R. D. T.; Fairbairn, E. M. R.; *Ambiente Construído* **2006**, *6*, 83.