

Polímeros superabsorventes como novo aditivo para materiais de construção à base de cimento

No caso de polímeros superabsorventes (SAP) trata-se de novos aditivos para tratamento posterior interno de concreto e argamassa. A alta capacidade de absorção e dessorção de água do SAP pode ser utilizada para controle do processo de hidratação em cimento e, assim, para redução do risco de formação de fissuras em materiais de construção à base de cimento. Este efeito pode ser verificado normalmente através de uma redução das contrações autógenas que é acompanhada por uma autossecação. A presente contribuição fornece uma visão geral sobre a utilização de SAP em materiais de construção à base de cimento e mostra sua eficiência através de uma comparação de resultados de experimentos de argamassa com e sem SAP. Argumenta-se que não se propõe alcançar apenas uma redução da contração autógena, mas a cada tipo de superabsorvente, também uma melhora das propriedades mecânicas.

■ Agnieszka J. Klemm e Fernando C. R. Almeida,
Departamento de Engenharia Civil, Universidade
Caledoniana de Glasgow, GB ■

A melhoria contínua das propriedades específicas e características de materiais de construção convencionais levou rapidamente ao desenvolvimento de muitos materiais compósitos modernos. No foco dos estudos estão as crescentes durabilidade e sustentabilidade destes materiais, o que se aplica especialmente para materiais de construção à base de cimento.

Apesar de divulgação mundial, argamassa e concreto são submetidos a diversos processos de desgaste que levam a uma redução da vida útil e reparos intrusivos ou dispendiosos. Uma das causas para a redução da durabilidade e desempenho está na formação de fissuras causada pela contração autógena. Esta contração é definida como redução macroscópica de volume de material de construção à base de cimento, que ocorre na hidratação do cimento após o início da solidificação. Alterações de

volume causadas por perda ou a contaminação de substâncias, oscilações de temperatura e também forças ou interferências externas não estão incluídas [1, 2]. A contração autógena desenvolve-se internamente através do volume total do concreto e pode estar relacionado a uma autossecação. Contração autógena pode levar, mesmo em poucos dias, a altas tensões de interferência após a concretagem e, assim, a formação de fissuras no concreto, o que afeta as propriedades mecânicas e sua durabilidade. Este efeito negativo é detectado em concreto de alta resistência com um típico alto teor de cimento e baixa razão água/cimento de forma mais pronunciada. Os efeitos negativos da contração podem ser evitados, na prática, exclusivamente através do uso de um processo adequado de cura [3].

Uma cura eficiente ocorre através de um procedimento externo ou interno. No primeiro trata-se de um procedimento 'Low-tech' físico, que não possui efeitos sobre o preço de uma mistura de concreto. Mesmo

assim, a carga de trabalho adicional leva, além de algumas limitações práticas, frequentemente a um aumento dos custos totais. Além disso, a consistência do produto final está sujeita a desvios, pois ela depende de um controle efetivo no local. No segundo procedimento trata-se de do uso de substâncias que gera o tratamento posterior interno. Isso pode não somente reduzir a carga de trabalho na obra, mas também garantir uma consistência uniforme do produto final [4]. Neste contexto, a utilização de polímeros superabsorventes (SAP) oferece-se como aditivo para o tratamento posterior interno em materiais de construção à base de cimento [5].

SAP podem ser considerados como novos aditivos para materiais de construção à base de cimento, cujos materiais finos funcionam como pequenos reservatórios de água distribuídos por todo o volume do concreto. Devido a sua capacidade de incorporar grandes quantidades de água da mistura de concreto fresco e oferecê-la novamente no estado de concreto fresco

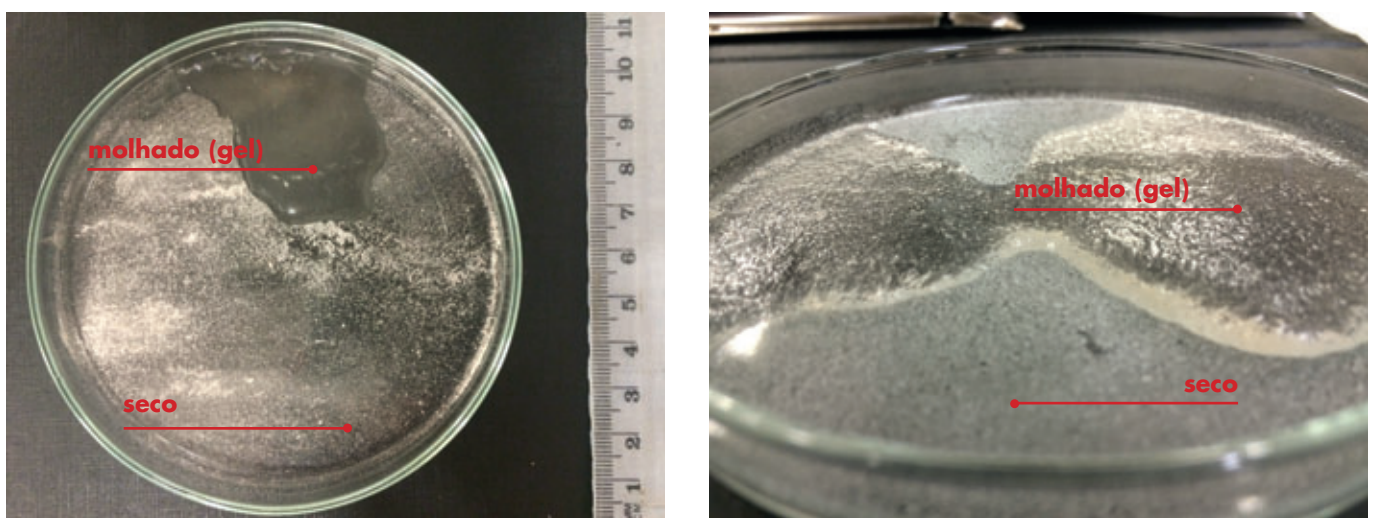


Fig. 1: Processo de inchaço e formação de gel de SAP



■ Dr. Agnieszka J. Klemm é docente do tema materiais de construção no departamento de Engenharia Civil na Universidade Caledoniana de Glasgow. Ela trabalha no Instituto de Tecnologia do Concreto, é colaboradora do Chartered Institute of Building e também trabalha na Higher Education Academy. Além disso, ela é colaboradora RILEM e especialista em vários projetos de pesquisa europeus (FP7/H2020). Seus interesses de pesquisa incluem durabilidade e previsão do comportamento de materiais compósitos com matriz frágil, tecnologia de materiais e materiais de construção inteligentes.
a.klemm@gcu.ac.uk



■ Fernando C. R. Almeida é doutorando no departamento de Engenharia Civil da Universidade Caledoniana de Glasgow. Ele concluiu um mestrado nas divisões de Construção Civil (Universidade Federal de São Carlos) e Engenharia Civil (Universidade Federal de São Carlos, incluindo um intercâmbio acadêmico com a Universidade de Coimbra). Seus interesses de pesquisa incluem a durabilidade e sustentabilidade de materiais de construção com foco na utilização de produtos secundários e novos materiais no concreto e argamassa.
fernando.almeida@gcu.ac.uk

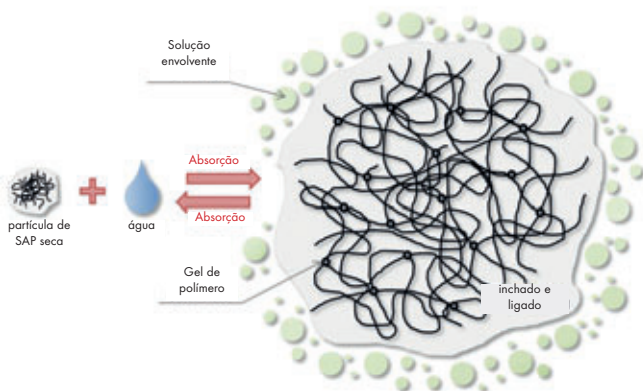


Fig. 2: Ilustração esquemática de redes de SAP em estado colapsado e inchado

ou endurecido, SAP oferecem-se para melhorar algumas propriedades do concreto, por exemplo, para redução da contração autógena. Através de um tratamento posterior interno adequado também é possível melhorar as propriedades mecânicas do concreto, pois os poros (pelo menos parcialmente) formados pelos SAP podem ser preenchidos com uma idade mais avançada com produtos de hidratação [6, 7, 8].

O ponto central dos estudos recentes realizados pela RILEM Technical Committee 225-SAP "Application of Superabsorbent Polymers in Concrete Construction" eram as possibilidades e limites da utilização de SAP para a resolução de diversos problemas com que se confrontam os profissionais do setor da construção [5, 9]. Para apoiar esta abordagem, a eficiência de SAP em matrizes à base de cimento através da apresentação de novos resultados de testes conforme o estado atual da pesquisa é mostrada no presente artigo.

Polímeros superabsorventes (SAP)

No caso de polímeros superabsorventes (SAP) trata-se, em princípio, de polímeros hidrófilos de ligação fraca com a capacidade de absorver e armazenar grande quantidade de água. SAP incham em contato com a água ou soluções aquosas e formam um gel de polímero. Um grama deste polímero pode absorver até 1.500 gramas de água [5]. A figura 1 mostra o processo de inchaço de SAP e a formação de gel na adição de água.

SAP são compostos, geralmente, de ácido acrílico e acrilamida de ligação fraca ou suas modificações. A neutralização parcial é obtida através de hidróxidos de metais alcalinos, usualmente sódio.

Concrete Curing Solutions



Thank you!



We would like to say thank you to all our visitors for the interesting conversations during the BAUMA 2016 in Munich!

We are looking forward to a successful cooperation!

CURETEC
Experts in Concrete Curing

CureTec Energietechnik GmbH & Co. KG
Lehmkuhlen 13 D - 49757 Vrees / Germany
Fon +49 (0) 4479 / 9390-600 · Fax +49 (0) 4479 / 9390-620

www.curetec.biz

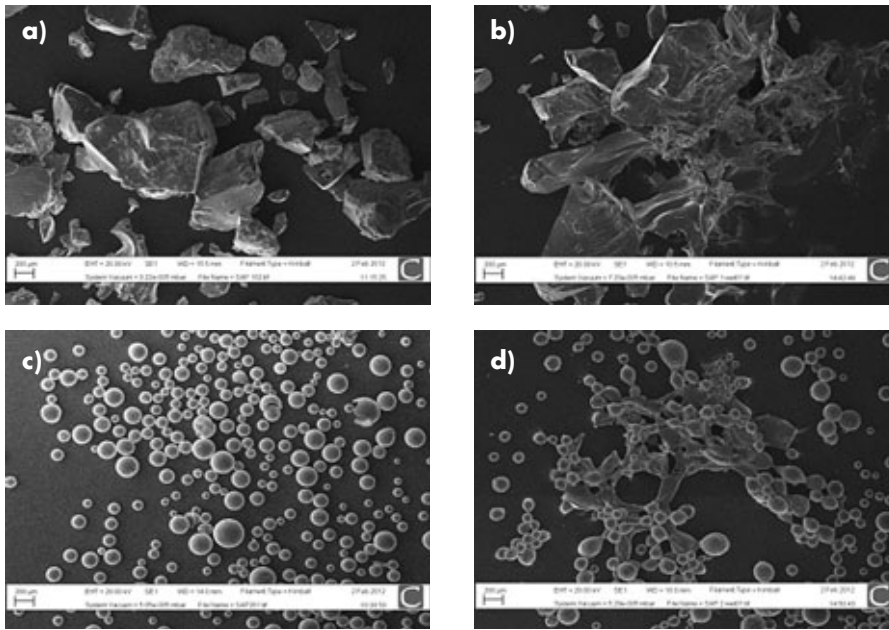


Fig. 3: Captação REM de SAP com formas diferentes de partículas em estado seco e molhado: (a) partícula seca irregular, (b) partícula molhada irregular, (c) partícula seca redonda e (d) partícula molhada redonda [7]

Quando suas redes tridimensionais entram em contato com líquidos, as moléculas de água difundem nos espaços ociosos da rede de polímero e hidratam as cadeias. O processo de hidratação de SAP é reversível, e a desidratação leva a um colapso do polímero [10] como ilustrado na figura 2.

A capacidade de inchaço e a resistência da rede dependem diretamente do grau das ligações cruzadas, da estrutura química dos monômeros formadores da rede de SAP assim como estímulos externos e tamanhos de ambiente como o valor do pH e da concentração de íons [10].

SAP com altas densidades de grupos funcionais, aniônicos absorvem líquidos rapidamente e liberam uma grande parte deles

dentro das primeiras horas de volta para a solução de cimento poroso. SAP com baixas densidades aniônicas armazenam líquidos absorvidos, em contrapartida, por um longo período e os liberam somente lentamente na solução porosa [11].

A concentração da solução de cimento poroso determinada pela presença de Ca^{2+} também influencia o comportamento de absorção e dessorção de SAP [11]. Segundo estudos, a capacidade de retenção e absorção de SAP é diferente com a adição de diferentes soluções [12]. Assim, as partículas secas de SAP com um diâmetro de 158 µm em água desmineralizada atingiram um diâmetro de 955 µm, em um fluido poroso sintético à base de cimento atingiu somente um diâmetro de 417 µm. Estes valores correspondem a uma capaci-

dade de absorção de 144,4 ml/g em água desmineralizada e de 11,6 ml/g em um fluido poroso sintético.

A cinética de absorção e dessorção de SAP depende muito da composição e concentração iônica em um líquido, especialmente de KOH , Na_2SO_4 e Ca^{2+} nas soluções alcalinas [11].

Além disso, o tamanho das partículas influencia na cinética e na capacidade de absorção. Quanto menor o tamanho das partículas, mais curto o processo de absorção. Com diâmetro decrescente do tamanho das partículas, a capacidade diminui, pois menos água pode entrar na estrutura reticulada [13]. Além disso, com SAP com tamanho de partículas abaixo de 100 µm aparece tipicamente o efeito de bloqueio de gel, o que causa que as partículas absorvam muito menos líquido em contato com a água e colem-se umas abaixo das outras. Isso leva a formação de grumos com uma grande parte de SAP não inchado que não se decompõe. Quando desejar-se que as partículas finas de SAP inchem, elas devem ser distribuídas e espalhadas antes do inchamento [5].

A forma e tamanho de SAP depende da tecnologia de produção utilizada [5]. No processo de polimerização, o processo de fragmentação ocorre como última etapa da produção, na qual os SAP surgem em formatos irregulares de partículas. Neste procedimento, as partículas são moldadas para o tamanho desejado. Em contrapartida, na polimerização em suspensão surgem partículas esféricas (partículas individuais ou aglomerados em forma de framboesa); entretanto, na produção de quantidades maiores destes SAP, os custos são maiores. Figura 3 mostra SAP com formas esféricas e irregulares em estado seco e molhado.

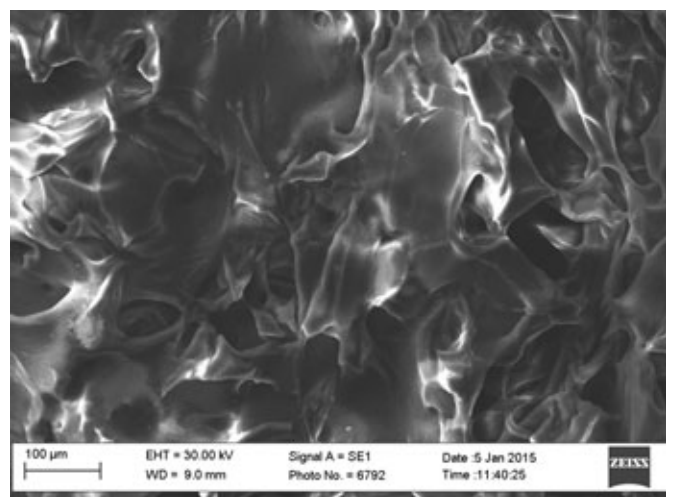
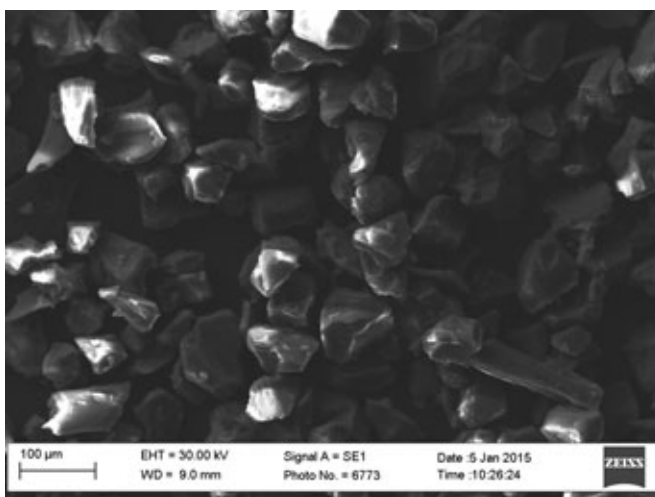


Fig. 4: Captação REM de SAP X em estado seco e molhado

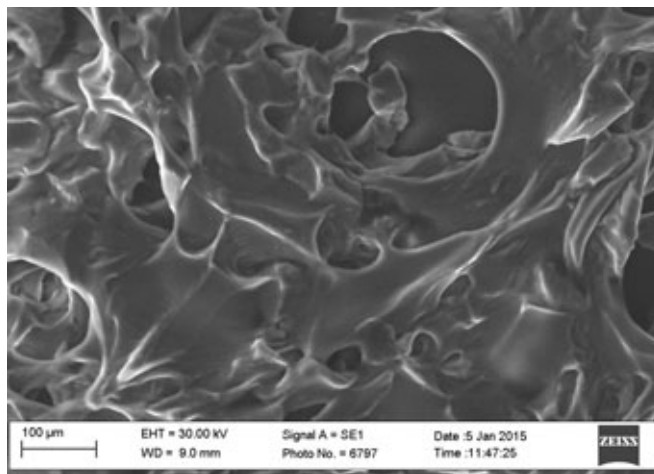
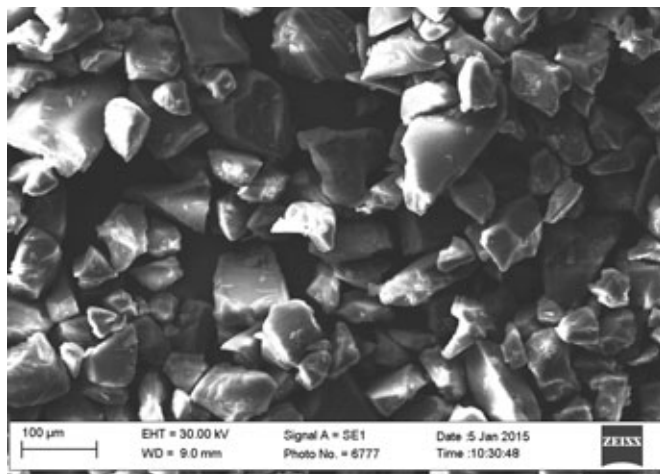


Fig. 5: Captação REM de SAP Y em estado seco e molhado

SAP dispõem de alguns parâmetros, através dos quais sua eficácia pode ser influenciada e controlada. As características definidas através do procedimento de produção como formato, tamanho e composição química possuem efeitos sobre o comportamento e desempenho em relação às capacidades e cinéticas de absorção e dessorção em água desmineralizada. Na utilização de SAP em materiais de construção à base de cimento, estes efeitos podem ser

ainda mais complexos, se as condições externas foram alteradas substancialmente.

Utilização de SAP em materiais de construção à base de cimento

O conceito de SAP como aditivo para materiais de construção à base de cimento não é totalmente novo. DOW e Hoechst já possuíam em 1989 e 1996, respectivamente, patentes para estes polímeros, mas

eles nunca foram inseridos no mercado [5]. Desde então foram realizados vários estudos [4-9, 11-14, 19-31] para pesquisa dos mecanismos de interação de SAP e seus efeitos sobre as propriedades do concreto como a contração autógena e propriedades mecânicas. O objetivo do presente artigo é o de ilustrar os efeitos de dois tipos de SAP sobre materiais de construção à base de cimento com base em argamassa com uma relação de mistura 1:2 (CEM I



Juntos criamos soluções!



MDT11000 para aplicação em Minas



CENTRAL FIXA



CENTRAL MÓVEL



CENTRAL EXPRESS



INSTALAÇÃO DE BRITAGEM



CENTRAL DE ASFALTO

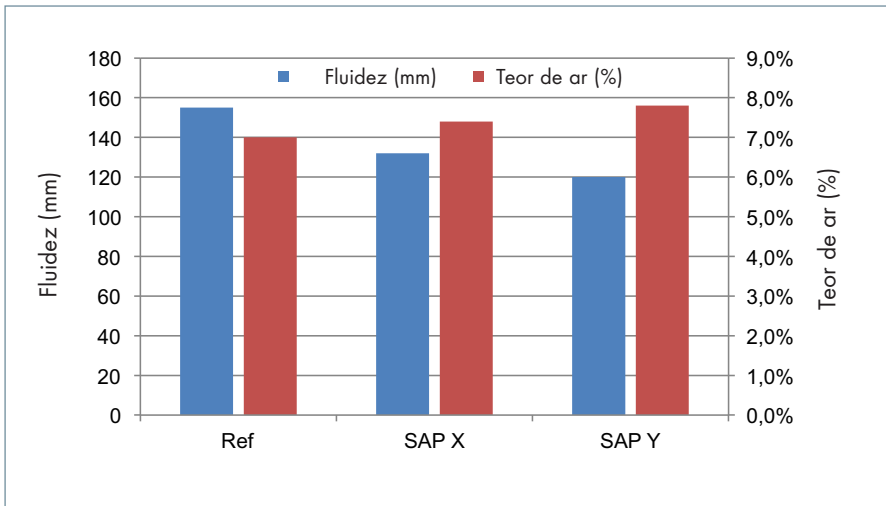


Fig. 6: Fluidiz e teor de ar de argamassas com e sem SAP

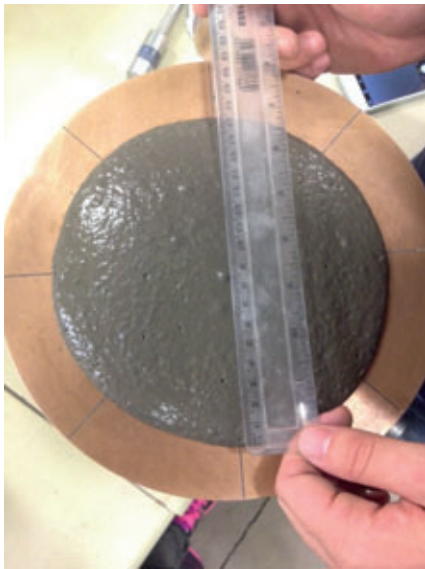


Fig.7: Verificação de fluidiz e teor de ar

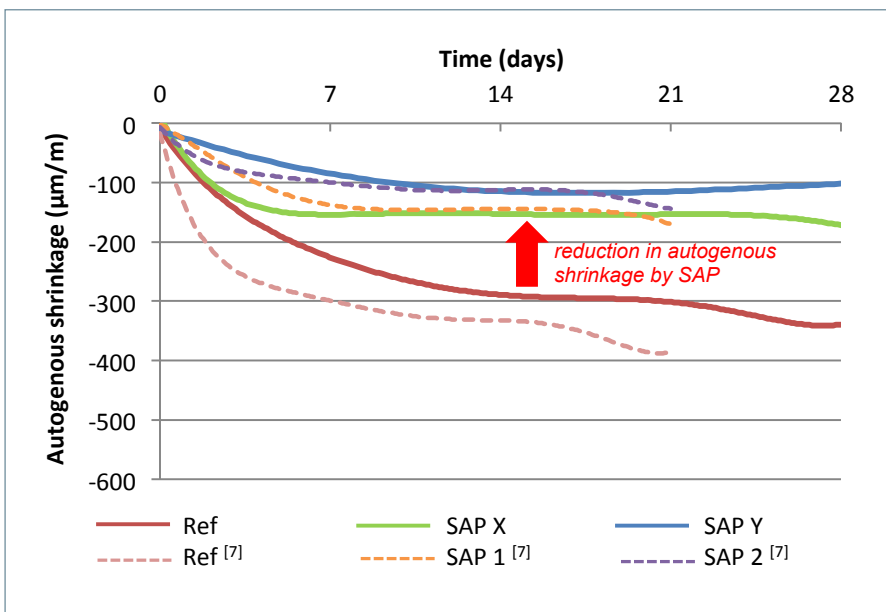


Fig. 8: Resultados da verificação da contração autógena e comparação com [7]

52,5N:Areia fina) e uma relação água/cimento (w/z) de 0,5. Para comparação serviram argamassas de referência (Ref) sem SAP. Figuras 4 e 5 exibem captação REM de SAP com diferente capacidade de absorção de água em estados seco e molhado. Apesar de os dois SAP exibirem a mesma capacidade de absorção de água (200-250 ml/g) em água desmineralizada, esta difere em uma solução de cimento significativamente e é de 25-30 g/g para SAP X e de 35 g/g para SAP Y.

Contração autógena

A maior vantagem de uma utilização de SAP em materiais de construção à base de cimento se encontra na redução da contração autógena. O princípio do tratamento posterior interno por SAP se baseia na retenção de água nos espaços ocios de argamassa endurecida e na redução da contração autógena [14]. Em outras palavras, SAP podem liberar água durante a fase de aceleração da hidratação do cimento, o que reduz a autosecagem e, com isso, a contração autógena. De forma prática, isto significa que materiais de construção à base de cimento com SAP como aditivo para o tratamento posterior interno apresentam um baixo risco de formação de fissuras, o que melhora sua durabilidade e desempenho.

Foram publicadas muitas pesquisas nas quais foi provado o efeito positivo de SAP na redução da contração autógena [5-9, 11, 27]. Os autores observaram uma redução considerável da contração autógena em decorrência do tratamento posterior



Fig. 9: Verificação da contração autógena por procedimento de tubo reforçado

interno. Os resultados correspondentes mostraram claramente que um tratamento posterior interno por SAP ilustra uma abordagem sólida que funciona independentemente de determinados desvios das matérias-primas do concreto, do procedimento de produção ou da tecnologia de medição [9].

Além disso, SAP conferem a misturas festas uma estrutura porosa, o que, além da liberação da água necessária para o tratamento posterior interno, também leva a uma redução da contração autógena. Misturas com SAP normalmente apresentam grande teor de ar através da alta absorção de água e do processo de inchaço na entrada de água no polímero.

Através da entrada de ar, as misturas são adensadas de forma mais fraca o que leva a estruturas de matriz mais porosas. Através dos capilares maiores, que levam a menores forças de tensão devido aos meniscos de água, espera-se uma redução da contração autógena. Através da tensão superficial da água gerada nos poros capilares pela perda de água aumenta a força de atração das paredes dos poros, o que contribui para a contração [17].

Além disso, no concreto com SAP há menos "água não fixada" em relação à criação destas forças de tensão. SAP absorvem esta água, resultando em misturas mais secas (com menor consistência). Devido ao alto teor de ar e da pequena parte de "água não fixada", nos capilares predominam forças de tensão menores e o concreto é menos vulnerável a deformações. A figura 6 mostra que as misturas com SAP apresentam uma consistência menor (conforme ensaio da mesa de fluidez [15]) e um alto teor de ar (conforme verificação de pressão [16]) (figura 7).

A figura 8 mostra os resultados pretendidos no âmbito da presente pesquisa para a verificação da contração autógena de argamassas com e sem SAP e os resultados publicados anteriormente em [7]. A contração autógena foi medida com auxílio do procedimento de tubo reforçado (fig. 9) a partir do final da solidificação até uma idade de 28 dias [18]. Em todos os casos foi registrada uma redução considerável da contração autógena através de SAP em comparação com as duas argamassas de referência.

O alto grau de hidratação promovido pelo CEM I levou a uma autosssecagem mais rápida e reforçada sem tratamento posterior interno adicional e, com isso, ao agravamento da contração autógena. Com adi-

ção de SAP, este comportamento se altera drasticamente; ocorre uma redução significativa. Assim os corpos de prova SAP X e SAP Y mostraram, após 28 dias, um risco de contração reduzido, de 50% e 70% respectivamente em comparação com a argamassa de referência. Um padrão comparativo foi detectado nos corpos de prova SAP1 e SAP2. Isso ilustra claramente o efeito de SAP na redução da contração autógena.

A redução acentuada diferentemente da contração autógena através de SAP deve-se a sua cinética de absorção e desorção de água nas soluções de cimento poroso. SAP com desorção mais lenta são mais adequados para um tratamento posterior interno, pois, no decorrer do tempo há uma maior quantidade de água disponível para a reação do cimento e a contração autógena é evitada. SAP que liberam nas primeiras horas uma quantidade considerável da solução porosa absorvida, são menos eficientes para a redução da contração autógena, pois a água necessária para o tratamento posterior interno que ainda resta será usada. Por isso, a medida e a duração da liberação de água de SAP no material à base de cimento são decisivos para a redução da contração autógena [9, 11].

De forma geral é possível determinar que, através da redução da contração autógena por SAP também é reduzido o risco de formação de fissuras em materiais de construção à base de cimento. Este efeito positivo pode levar a materiais de construção mais duráveis e construções mais sustentáveis através de uma melhor produtividade dos recursos do concreto. Além disso, as armaduras de aço de elementos de concreto com baixo risco de formação de fissuras e permeabilidade reduzida apresentam uma maior resistência à corrosão. A alta resistência ao desgaste evita danos progressivos em construções através de sua vida útil e possibilita a economia de recursos em relação a manutenção, reparos e, inclusive, substituição. A redução do volume de resíduos criado no âmbito de medidas de reparos e manutenção e do impacto ambiental ligado a isso contribui para a melhoria da durabilidade e sustentabilidade de construções com concreto.

Propriedades mecânicas

Pesquisas publicadas anteriormente mostraram que a utilização de SAP pode influenciar a resistência e a resistência à tração em certa medida [7, 19-23]. Não existe, porém, um consenso em relação ao desempenho típico, pois diferentes polímeros possibilitam obter diferentes propriedades estruturais micro [8, 9, 11].

RASTREANDO O FUTURO DA TECNOLOGIA DE MISTURA



trakmix

A TRAKMIX é uma instalação de mistura de grande capacidade, de pesagem total, sobre esteiras, totalmente móvel e autônoma.

- Com débito de até 250 TPH
- Misturador contínuo de duplo-eixo de elevada capacidade
- tremonha de agregado de 7,5 m3 (incl. placa divisória para 2 tipos de agregados)

rapid

www.rapidinternational.com

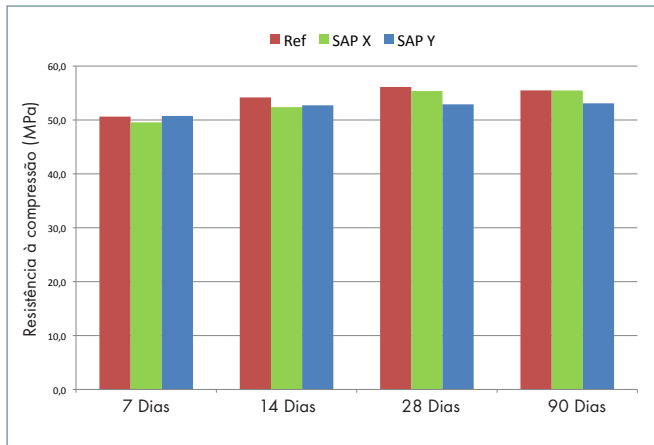


Fig. 10: Resultados da verificação de resistência à compressão

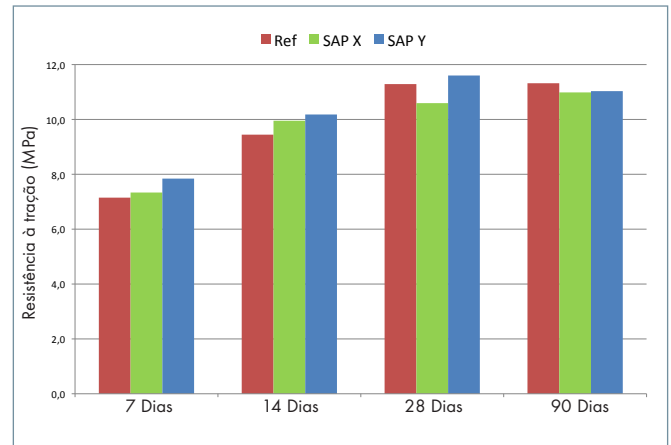


Fig. 11: Resultados da verificação de resistência à tração

A interferência nas propriedades mecânicas, especialmente na resistência à tração, pode dever-se ao grande volume dos poros nas misturas com SAP. Na liberação de água para tratamento posterior interno as SAP se retraem e deixam poros de ar que funcionam com pontos fracos na estrutura do material [9].

Por isso, a forma e tamanho das partículas de SAP influenciam significativamente nos valores de resistência. Concreto com partículas de SAP esféricas e menores alcançaram uma maior resistência que uma mistura com partículas de SAP irregulares e maiores. Um formato de poros irregulares causados pelas partículas de SAP irregulares aumenta as concentrações de tensão no concreto e reduz, com isso, a resistência da estrutura do material. Este efeito é reforçado por partículas de SAP maiores, pois estas deixam poros ainda maiores [9, 24]. A cinética da liberação de água em materiais de construção à base de cimento também deve ser considerada. Uma liberação de água prematura na pasta de cimento com SAP, ou seja, antes da solidificação, pode levar a uma redução da resistência à compressão. Este efeito pode ser atribuído a um determinado aumento da razão água/cimento e da porosidade maior do concreto resultante disso [11, 25]. Nos poros formados pelos SAP trata-se, entretanto, de poros de gargalo ou poros fechados, que só possuem efeito insignificante sobre a durabilidade [8].

Em contrapartida, misturas com SAP com dessorção de água tardia apresentam pouca ou nenhuma perda de firmeza. Isso pode ser explicado pela liberação mais tardia de água. Neste caso, a água adicionada complementarmente pode realmente ser utilizada para o tratamento posterior interno. A redução eficiente da contração autógena e do maior grau de hidratação, a interferência dos espaços ociosos

criados pelas partículas de SAP prevalecem evidentemente, pois estes apresentam uma baixa relação de dessorção [11]. Para confirmar este ponto podem, segundo alguns estudos [8, 26-31], pode ocorrer uma diminuição mínima da resistência à compressão ou até mesmo, um pequeno aumento da resistência. É reconhecido que SAP podem aumentar o grau de hidratação e evitar a autosssecagem do concreto. Consequentemente, é obtida uma fase de cola e a expansão de microfissuras é evitada.

As figuras 10 e 11 mostram os resultados das verificações de resistência à compressão e à tração da argamassa de referência e da argamassa com SAP X e SAP Y após 7, 14, 28 e 90 dias [32]. SAP possuem, assim, nenhuma influência significativa aparente sobre as propriedades mecânicas, especialmente em idade avançada (90 dias), o que leva à consequência de que, tanto SAP X quanto Y possam ser utilizados como aditivos para o tratamento posterior interno.

A influência do tipo de SAP sobre o desenvolvimento da microestrutura de matrizes à base de cimento deve ser ainda estudada mais detalhadamente, para fundamentar os resultados macroscópicos através de uma explicação mecanicista [11].

Resumidamente, é possível constatar que as propriedades mecânicas dependem consideravelmente do tipo de SAP, pois este causa ou uma redução ou um ligeiro aumento da resistência. Entretanto, estas diferenças não são suficientes para excluir uma utilização de SAP em materiais de construção à base de cimento. Por isso, salienta-se a importância de estudos mais aprofundados dos mecanismos de absorção e dessorção de SAP em matrizes à base de cimento curadas.

Considerações finais e visão geral

Polímeros superabsorventes (SAP) podem ser considerados como novo aditivo para controle do tratamento posterior interno de materiais de construção à base de cimento. A utilização de SAP no concreto e argamassa possui efeitos positivos sobre as propriedades como a contração autógena e a resistência à tração e compressão.

SAP levam comprovadamente a uma redução da contração autógena, o que é considerado como o motivo mais importante para sua utilização. Através da redução da contração autógena também é reduzido o risco de formação de fissuras, o que possibilita a produção de materiais de construção à base de cimento mais duráveis e sustentáveis.

As propriedades mecânicas são influenciadas pelo tipo, tamanho das partículas, a forma e também pelas propriedades de absorção e dessorção de SAP. A capacidade e cinética de sorção de SAP e também as características e composições dos materiais de construção à base de cimento, que recebem adição de SAP, possuem uma influência importante sobre a resistência à compressão e tração.

Por isso, SAP oferecem-se como novos aditivos potenciais e promissores para o tratamento posterior interno de concreto e argamassa e para a redução de uma autosssecagem.

Agradecimento

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil) pelo apoio financeiro, Hanson Cements por disponibilizar CEM I e BASF por disponibilizar SAP.

■ Bibliografia

- [1] Technical Committee Report on Autogenous Shrinkage of Concrete, Japan Concrete Institute: Autogenous Shrinkage of Concrete. In: Tazawa, E. (ed.), London: E & FN Spon, 1998; pp. 3–62.
- [2] Mehta, P.K.; Monteiro, P.J.M.: Concrete: microstructure, properties, and materials. 3ed. McGraw-Hill, 2005.
- [3] Hoa, L.; Hooton, R. D.: Effects of internal curing methods on restrained shrinkage and permeability. In: Proceedings of the 4th International Seminar on Self-desiccation and Its Importance in Concrete Technology. Lund University, Lund, Sweden, 2005, pp 210-228.
- [4] Klemm A. J.: Superabsorbent polymers in cementitious composites. In: Hewlett P.C. (ed.): ICT Yearbook: 2015-2016, 20ed., Camberley: The Institute of Concrete Technology, 2015, pp. 87-97.
- [5] Mechtcherine, V.; Reinhardt, H.W. (eds.): Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction: State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP, RILEM: Springer, 2012.
- [6] Klemm, A. J.: The influence of superabsorbent polymers on the microstructural features and mechanical properties of cementitious mortars subjected to freezing and thawing conditions. In: Proceedings of the 9th Symposium on High Performance Concrete, Rotorua. 2011.
- [7] Klemm, A. J.; Sikora, K.: The effect of cement type on the performance of mortars modified by superabsorbent polymers. In: Alexander et al. (eds.): Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III. London: Taylor and Francis, 2012; pp. 210–216.
- [8] Klemm, A. J.; Sikora, K.S.: The effect of Superabsorbent Polymers (SAP) on microstructure and mechanical properties of fly ash cementitious mortars. Construction and Building Materials, 49, 2013; pp.134–143.
- [9] Mechtcherine, V. et al. Effect of internal curing by using superabsorbent polymers (SAP) on autogenous shrinkage and other properties of a high-performance fine-grained concrete: results of a RILEM round-robin test. Materials and Structures, 47(3), 2013; pp.541–562.
- [10] Siriawatwechaklu, W.; Siramanont, J.; Vichit-Vadakan, W.: Superabsorbent polymer structures. In: International RILEM Conference on Use of Superabsorbent Polymers, Lyngby. RILEM Publications S.A.R.L., 2010; pp. 253-262.
- [11] Schroff, C.; Mechtcherine, V.; Gorges, M.: Relation between the molecular structure and the efficiency of superabsorbent polymers (SAP) as concrete admixture to mitigate autogenous shrinkage. Cement and Concrete Research, 42, 2012; pp. 865–873.
- [12] Esteves, L. P.; Jensen, O. M.: Absorbency of Superabsorbent Polymers in Cementitious Environments. MRS Proceedings, 1448, 2012; pp.25–31.
- [13] Esteves, L. P.: Superabsorbent polymers: On their interaction with water and pore fluid. Cement and Concrete Composites, 33(7), 2011; pp.717–724.
- [14] Beushausen, H.; Gillmer, M.; Alexander, M.: The influence of superabsorbent polymers on strength and durability properties of blended cement mortars. Cement and Concrete Composites, 52, 2014; pp.73–80.
- [15] BSI: Methods of test for mortar for masonry – part 3: determination of consistence of fresh mortar (by flow table). BS EN 1015-3: 1999.
- [16] BSI: Methods of test for mortar for masonry – part 7: determination of air content of fresh mortar, BS EN 1015-7: 1998.
- [17] Valcuende, M. et al.: Shrinkage of self-compacting concrete made with blast furnace slag as fine aggregate. Construction and Building Materials, 76, 2015; pp.1–9.
- [18] ASTM Standard: Standard test method for autogenous strain of cement paste and mortar. ASTM C-1698: 2009.
- [19] Klemm, A. J.; Klemm, P.: The effects of the admixtures on the pore structure of composites subjected to freezing and thawing cycles. Building and Environment, 32 (6), 1997; pp. 509-512.
- [20] Klemm, A. J.; Marks, W.: Multicriteria optimization of polymer modified concrete. Building and Environment, 34 (3), 1999; pp. 369-375.1999.
- [21] Craeye, B.; Geirnaert, M.; Schutter, G.: Super absorbing polymers as an internal curing agent for mitigation of early-age cracking of high-performance concrete bridge decks. Construction and Building Materials, 25, 2011; pp.1–13.
- [22] Piérard J.; Pollet, V.; Cauberg, N.: Mitigating autogenous shrinkage in HPC by internal curing using superabsorbent polymers. In: Proceedings PRO 52 of the International RILEM Conference on volume changes of hardening concrete: testing and mitigation, Bagnex (France). RILEM Publications SARL, 2006; pp. 97–106.
- [23] Lura, P.; Durand, F.; Loukili, A.; Kovler, K.; Jensen, O. M.: Compressive strength of cement pastes and mortars with superabsorbent polymers. In: Proceedings PRO 52 of the International RILEM Conference on volume changes of hardening concrete: testing and mitigation, Bagnex (France). RILEM Publications SARL, 2006; pp. 117–126.
- [24] Zhutovsky, S.; Kovler, K.; Bentur, A.: Revisiting the protected paste volume concept for internal curing of high-strength concretes. Cement and Concrete Research, 41(9), 2011; pp.981–986.
- [25] Zhutovsky, S.; Kovler, K.: Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete. Cement and Concrete Research, 42(1), 2012; pp.20–26.
- [26] Hasholt, M.T. et al.: Can superabsorbent polymers mitigate autogenous shrinkage of internally cured concrete without compromising the strength? Construction and Building Materials, 31, 2012; pp.226–230.
- [27] Klemm, A. J.; Baker, P.; Sikora, K. The effect of super absorbent polymers on the performance of immature cementitious mortars. In: Brittle Matrix Composites 10. Warsaw: Elsevier, 2012; pp. 21–31.
- [28] Hasholt, M. T.; Jespersen, M. H.; Jensen, O. M.: Mechanical properties of concrete with SAP. Part I: Development of compressive strength. In: International RILEM Conference on Use of Superabsorbent Polymers and Other New Additives in Concrete, Lyngby. RILEM Publications SARL, 2010; pp. 127-136.
- [29] Esteves, L. P.; Cachim, P.; Ferreira, V. M.: Mechanical properties of cement mortars with superabsorbent polymers. In: Grosse, C. U. (ed): Advances in Construction Materials. Springer, 2007; pp. 451–462.
- [30] Mechtcherine, V.; Dudziak, L.; Hempel, S.: Mitigating early age shrinkage of ultra-high performance concrete by using super absorbent polymers (SAP). In: Tanabe T, et al. (eds): Creep, shrinkage and durability mechanics of concrete and concrete structures – CONCREEP-8. London, UK: Taylor & Francis Group; 2009. pp. 847–53.
- [31] Bentz, D. P.; Geiker, M.; Jensen, O. M.: On the mitigation of early age cracking. In: Proceedings of the 3rd International Seminar on self-desiccation and its importance in concrete technology, Sweden. 2002; pp. 195–204.
- [32] BSI: Methods of test for mortar for masonry – part 11: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. BS EN 1015-11: 1999.



Nossa medição de umidade está melhor do que nunca

Hydronix



Atualizado: Hydro-Probe para
compartimentos de agregados



Atualizado: Hydro-Mix para
misturadoras de concreto

Nossos novos modelos de sensores mantêm o design exterior existente comprovado, mas foram internamente atualizados para um desempenho ainda melhor

- Medição exata e consistente da umidade em tempo real
- Tecnologia digital com desempenho linear preciso
- Fácil de integrar em sistemas novos ou existentes
- Calibração e configuração remota
- De temperatura estável

enquiries@hydronix.com
www.hydronix.pt



Hydronix