

Estudo de compatibilidade entre cimento e aditivo redutor de água

Compatibility study of water-reducer admixture

Karoline Alves de Melo
Vanessa da Costa Martins
Wellington Longuini Repette

Resumo

Um dos maiores avanços em tecnologia do concreto tem sido o desenvolvimento de aditivos. Com a difusão do emprego dos aditivos redutores de água, principalmente em concretos especiais, inúmeros problemas de incompatibilidade cimento-aditivo têm sido relatados mundialmente. O presente trabalho se propõe a analisar propriedades dos estados fresco e endurecido de argamassas utilizando aditivos plastificantes e superplastificantes e diferentes tipos de cimento, avaliando-se a perda de fluidez, o tempo de início de pega e a resistência à compressão. Foram encontrados alguns problemas de incompatibilidade nas propriedades estudadas como, por exemplo, o retardo de pega causado pelo uso de aditivo à base de lignosulfonatos e, ainda, o retardo de endurecimento destas argamassas percebido pela redução da resistência à compressão na idade de 1 dia. Entretanto, não se pode classificar nenhuma combinação como de melhor ou pior desempenho, pois não se observou um comportamento uniforme nas diferentes propriedades avaliadas. O aditivo à base de lignosulfonato de sódio foi o que proporcionou misturas mais econômicas em relação aos demais devido ao seu baixo custo.

Palavras-chave: Cimento. Aditivo redutor de água. Interação.

Abstract

One of the most important advances in concrete technology has been the development of chemical admixtures. Nowadays, the use of fluidity admixtures has become essential in the production of special concretes, particularly of high-performance concrete, but many incompatibility problems between cement and admixtures have been reported. This study aims to analyze fresh and hard cement properties when water-reducer and high-range water-reducer admixtures and different types of cement are used. Fluidity loss, setting time, and compressive strength were measured. Some incompatibility problems were found. For example, lignosulfonates delayed cement setting time and hardening, as observed by the reduction of compressive strength at day one. However, it was not possible to determine if the performance of those combinations was better or worse, as the different properties that were evaluated did not have consistent behavior. The lignosulfonate-based admixture provided the cheapest mixture as compared to the others.

Keywords: Cement. Water-reducer admixture. Interaction.

Karoline Alves de Melo
Centro Tecnológico
Universidade Federal de Santa
Catarina
Caixa Postal 476
CEP 88010-970
Florianópolis - SC - Brasil
Tel.: (48) 3721-5174
E-mail: melokarol@hotmail.com

Vanessa da Costa Martins
Centro Tecnológico
Universidade Federal de Santa
Catarina
E-mail:
vanessa.c.m@terra.com.br

**Wellington Longuini
Repette**
Centro Tecnológico
Universidade Federal de Santa
Catarina
E-mail: wellington@ecv.ufsc.br

Recebido em 14/04/07
Aceito em 12/01/08

Introdução

Para atender às especificações atualmente praticadas nas estruturas de concreto, especialmente no que diz respeito a maiores resistências e melhor durabilidade, faz-se necessário o desenvolvimento e emprego de novos materiais que confirmem tais requisitos.

Os concretos modernos são mais do que simples misturas de cimento, água e agregados; contêm também adições minerais e aditivos, os quais possuem determinadas características, a fim de promover no concreto efeitos específicos, tornando-os aptos às mais diferentes aplicações. Aïtcin (2000a) define quatro grupos de aditivos de acordo com suas funções: os que promovem dispersão nas partículas de cimento; os que modificam a cinética do processo de hidratação do cimento; os que reagem com algum subproduto da hidratação; e os que apresentam somente ação física no concreto. Um dos aditivos de maior utilização atualmente é o redutor de água, que permite a melhora das condições de trabalhabilidade do concreto sem alteração da relação água/cimento ou, ainda, redução da quantidade de água adicionada, promovendo um aumento de resistência (AÏTCIN; JOLICOEUR; MACGREGOR, 1994).

Os primeiros materiais utilizados como redutores de água foram os polímeros derivados da lignina, ou lignossulfonatos. Estes são chamados plastificantes e apresentam uma capacidade de redução de água entre 5% e 10% (AÏTCIN, 2000b) e um baixo custo por serem derivados de um subproduto da indústria da celulose e papel. Entretanto, em sua composição estão presentes açúcares que, se em quantidade elevada, podem causar problemas, como o retardo da pega e a incorporação de ar (AÏTCIN; JOLICOEUR; MACGREGOR, 1994).

Com o avanço da indústria química, surgiram aditivos à base de polímeros sintéticos que apresentam maior eficiência na redução de água, podendo ser usados em dosagens maiores, os quais são polinaftalenos sulfonatos de sódio e polimelaminas sulfonatos de sódio. Nos últimos anos começaram a ser utilizadas novas formulações de polímeros com cadeias longas conhecidos como policarboxilatos ou poliacrilatos, que possibilitam uma maior duração do efeito fluidificante (AÏTCIN, 2000b). Todos esses aditivos permitem uma redução na quantidade de água de até 30%, sendo chamados de superplastificantes (AÏTCIN; JOLICOEUR; MACGREGOR, 1994).

Quando os grãos de cimento entram em contato com a água, tendem a flocular, promovendo o aprisionamento de parte da água dentro dos flocos, reduzindo assim a quantidade disponível para a “lubrificação” da pasta de cimento. Como a principal ação dos aditivos plastificantes e superplastificantes é a de promover a dispersão dos grãos de cimento, destruindo grande parte dos aglomerados de partículas, a água previamente aprisionada nos flocos fica livre, resultando no aumento do teor de água efetiva disponível para promover a lubrificação do movimento das partículas, o que causa o aumento da fluidez da pasta sem a necessidade da adição de água à mistura. Na Figura 1 pode-se visualizar as estruturas floculada e dispersa da pasta de cimento. Por ser a dispersão dos grãos sua principal forma de ação, esses aditivos são também designados como “dispersantes”.

Segundo Aïtcin, Jolicoeur e MacGregor (1994), os principais mecanismos capazes de explicar os efeitos de dispersão e fluidificação promovidos pelos superplastificantes são a redução da tensão superficial da água, a repulsão eletrostática induzida nos grãos do cimento, a repulsão estérica e a formação de um filme lubrificante entre esses grãos.

Entre esses mecanismos de ação, a repulsão eletrostática e a repulsão estérica são as principais responsáveis pela dispersão das partículas. A repulsão eletrostática explica-se pelo fato de as moléculas dos aditivos plastificantes e superplastificantes, após dissolução em água, apresentarem em sua superfície cargas preponderantemente negativas (principalmente devido à ionização dos grupos sulfônicos e carboxílicos). Uma vez adsorvidas nas partículas de cimento, essas moléculas induzem o surgimento de cargas negativas em sua superfície, resultando em repulsão entre partículas vizinhas. Esse efeito é chamado de repulsão eletrostática e caracteriza o principal modo de ação dos aditivos de base lignossulfonato de sódio, naftaleno sulfonato de sódio e melamina sulfonato de sódio. Já os aditivos de base policarboxilato de sódio, por apresentarem elevada massa molecular, além do efeito eletrostático, efetuam a dispersão através de repulsão estérica, que consiste em uma barreira física que impede a aproximação das partículas (JOLICOEUR; SIMARD, 1998).

Segundo Jiang, Kim e Aïtcin (1999), a eficiência dos redutores de água é influenciada pelos seguintes fatores:

- (a) composição do cimento, especialmente teor de álcalis e de C_3A ;
- (b) finura do cimento;
- (c) quantidade e tipo do sulfato de cálcio no cimento;
- (d) natureza química e massa molecular do superplastificante;
- (e) grau de sulfonatação do aditivo e natureza do cátion neutralizador; e
- (f) dosagem e método de adição do aditivo.

A adsorção nas partículas de cimento depende dos grupos funcionais dos dispersantes e ocorre preferencialmente nos aluminatos em relação aos silicatos. A quantidade de aditivo adsorvido depende também do instante no qual ele é incorporado ao sistema cimento/água, sendo menor quando adicionado depois de misturar o cimento com a água, conferindo uma melhora significativa da trabalhabilidade. Já, quanto maior a finura do cimento, maior a quantidade de aditivo necessária para melhorar a fluidez da mistura (RIXON; MAILVAGANAM, 1999).

Os sulfatos exercem um papel importante no mecanismo de adsorção, uma vez que elevadas quantidades de sulfatos alcalinos presentes no cimento inibem a adsorção no C_3A e no C_4AF em favor da adsorção no C_3S e no C_2S . Conseqüentemente, como a fase silicato adsorve menos polímeros que a fase aluminato, um aumento no conteúdo de álcalis do cimento promove a redução no teor total de aditivo adsorvido em suas partículas, resultando na necessidade de haver maior quantidade de polímero na fase aquosa para promover dispersão e redução da viscosidade da pasta de cimento (COLLEPARDI *et al.*, 1999; JIANG; KIM; AÏTCIN, 1999; RAMACHANDRAN *et al.*, 1998; RIXON; MAILVAGANAM, 1999; RONCERO, 2000).

Um fator importante a ser observado em relação ao uso de aditivos superplastificantes é a dosagem a ser empregada, de forma a não gerar incompatibilidade com o cimento, o que pode levar a efeitos adversos no concreto. Mediante ensaios de laboratório pode-se determinar a máxima quantidade de aditivo acima da qual não se observam melhoras na fluidez da pasta de cimento, sendo esse teor conhecido como ponto de saturação. Dosagens maiores do que a do ponto de saturação não raramente causam instabilidade da mistura (segregação, exsudação) e retardo acentuado da pega do cimento. Hover (1998) salienta a importância de se usar a menor dosagem possível de aditivo, justificando sua preferência pelo uso dos superplastificantes em relação aos plastificantes, já que esses últimos

necessitam ser empregados em maior quantidade para promoverem incremento na fluidez dos concretos.

Um exemplo típico de incompatibilidade entre aditivo e cimento acentuada pelo uso de elevado teor de aditivo ocorre entre o cimento e o aditivo à base de lignossulfonato, quando se observa um forte retardo de pega e endurecimento, e a incorporação de uma quantidade excessiva de bolhas de ar à mistura. Outro problema normalmente relacionado a esse aditivo é a perda rápida de fluidez. Uma possível explicação dada por Ranc¹ (apud AÏTCIN; JOLICOEUR; MACGREGOR, 1994) consiste na influência que o aditivo exerce na disponibilidade de íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , alterando o processo de hidratação, especialmente na fase inicial.

As interações entre cimento e aditivo são muitas vezes de difícil entendimento, uma vez que envolvem dois sistemas químicos complexos. Além disso, nos dias de hoje, têm-se utilizado combinações de dois ou mais aditivos, como incorporadores de ar, redutores de retração, aceleradores de pega, tendo sido cada um deles elaborado primordialmente para atuar de forma individual na mistura e, freqüentemente, problemas resultam quando utilizados em conjunto.

A verificação da ocorrência de problemas de incompatibilidade exige uma avaliação de cada combinação entre cimento e aditivo disponível para uso, já que um aditivo pode agir e interagir diferentemente para cada tipo de cimento. Além disso, mesmo cimentos de mesmo tipo mas produzidos por diferentes fabricantes ou provenientes de lotes diferentes de um mesmo fabricante podem apresentar desempenho diferenciado com os aditivos. Atualmente, um dos fatores que mais contribuem para a variabilidade da composição dos cimentos é o emprego de combustíveis alternativos (e diversos) para a produção do clínquer nos fornos rotativos.

Partindo-se para um estudo de compatibilidade entre cimento e aditivo, alguns aspectos devem ser definidos. Primeiramente, se o estudo será feito em pasta ou argamassa, de forma que se tenha a melhor representação do comportamento no concreto; deve-se determinar também quais as propriedades a serem avaliadas, bem como os ensaios adotados; e deve-se definir em que consistência os estudos serão realizados, com maior ou menor fluidez, chegando-se aos teores de água e aditivo a serem empregados.

¹ RANC. R. Interaction entre les réducteurs d'eau plâtrifiants et les ciments. *Cim. Beton. Plâtre Chaux*, v. 782, n. 1, p. 19-21, 1990.

A avaliação da compatibilidade entre cimento e aditivo pode consistir em um processo bastante complexo quando os aspectos químicos e físicos necessitam ser determinados. No entanto, para a maioria das aplicações práticas, o objetivo é obter a melhor combinação entre aditivo e cimento para que argamassas e concretos desempenhem satisfatoriamente nos estados fresco e endurecido. Nesse caso, os ensaios utilizados nos estudos de compatibilidade são simples e de fácil interpretação e podem, sem a imposição de fatores limitantes que comprometam a análise dos resultados, ser realizados em pasta ou argamassa, e não em concreto. Nesse artigo apresenta-se a avaliação comparativa do desempenho de diferentes tipos de aditivos dispersantes para diferentes tipos de cimento Portland normalmente empregados na região Sul do Brasil. A avaliação das combinações entre cimento e aditivo foi realizada em argamassas, determinando-se os perfis de perda de fluidez, o tempo de início de pega (através de ensaio de calorimetria semi-adiabática) e a resistência à compressão.

Procedimento experimental

O estudo foi realizado em argamassa com traço de 1:1,2:0,4. O agregado miúdo utilizado foi uma areia média, extraída de rio, proveniente de Tijucas, SC. A caracterização desse material apresenta-se na Tabela 1.

Os cimentos utilizados foram dos tipos CP V ARI RS, CP II Z e CP IV, com massas específicas de, respectivamente, 2,97, 2,95 e 2,79 g/cm³, fornecidos pela Votorantim Cimentos.

Foram empregados os seguintes aditivos: Mastermix 305 N, plastificante à base de lignossulfonato (L); Rheobuild 1000, superplastificante à base de naftaleno sulfonato (N) e Glenium 51, superplastificante à base de policarboxilato (P), todos fornecidos por Degussa Construction Chemicals (atualmente Basf S.A.). As principais características desses aditivos estão apresentadas na Tabela 2.

O programa experimental foi executado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC. O acondicionamento dos materiais, o preparo das misturas e a realização dos ensaios no estado fresco deram-se em sala climatizada, com temperatura de (21 ± 2) °C.

As argamassas foram produzidas em argamassadeira do tipo planetária, com mistura conforme os seguintes passos:

(a) colocaram-se na cuba todo o cimento e aproximadamente 90% da água, seguindo a mistura em velocidade baixa por 30 s;

(b) adicionou-se a areia, sem paralisar a operação de mistura, em 30 s, seguindo mistura em velocidade alta por 30 s;

(c) desligou-se a argamassadeira por 1,5 min para se despreparar, com o auxílio de uma espátula, a argamassa aderida às paredes da cuba e à pá. No tempo restante, a mistura permaneceu em repouso, coberta com um pano limpo e úmido; e

(d) ligou-se a argamassadeira em velocidade alta e adicionaram-se o aditivo e o restante da água, deixando-se misturar por 1 min.

Os teores de aditivos adotados para cada tipo de cimento foram determinados da seguinte forma:

(a) produzia-se uma argamassa utilizando-se o teor máximo recomendado pelo fabricante de aditivo plastificante (base de lignossulfonato de sódio). Se observada a ocorrência de exsudação ou segregação, novas misturas eram produzidas empregando-se menores teores de aditivo, até se encontrar uma mistura estável (sem segregação e sem exsudação), chamada de argamassa “padrão”;

(b) na mesa de abatimento, determinava-se a abertura inicial (espalhamento); e

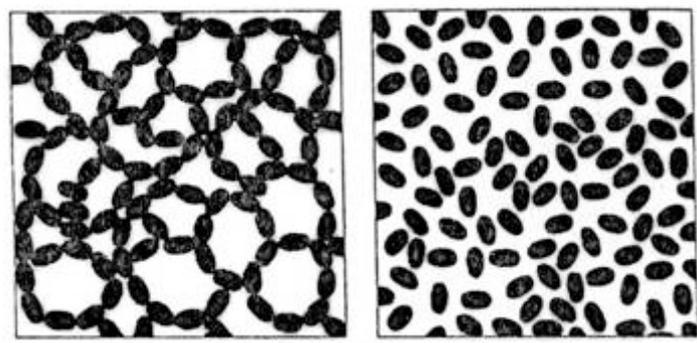
(c) os teores de superplastificante adotados foram aqueles cujas misturas apresentaram o mesmo espalhamento obtido com o aditivo plastificante, com tolerância de ±1 cm, de forma a não se verificar instabilidade.

As dosagens encontradas para cada combinação cimento/aditivo e as respectivas aberturas na mesa de consistência (sem aplicação de golpes) são apresentadas na Tabela 3.

Foram avaliadas como propriedades do estado fresco a perda de consistência e o tempo inicial de pega, e, como propriedade do estado endurecido, a resistência à compressão nas idades de 1, 7 e 28 dias.

Perda de consistência

Para avaliar-se a perda de consistência das misturas foi empregado o ensaio da mesa de consistência (ABNT, 1995). A primeira leitura foi feita logo após a produção das argamassas (em torno de 6 min após a adição da água ao cimento), determinando-se a abertura inicial e as aberturas com a aplicação de 5, 10 e 15 golpes (quedas da mesa). Esse procedimento foi repetido em intervalos de 30 min a partir do momento em que se adicionou água ao cimento. O ensaio prosseguiu até 2 h, porém em algumas misturas com aditivo superplastificante as leituras foram feitas até se obter a mesma abertura atingida pela argamassa padrão.



Fonte: Aïtcin, Jolicoeur e MacGregor (1994)

Figura 1 - Representação dos flocos da pasta de cimento e das partículas dispersas

Granulometria	Abertura das peneiras (mm)	% retida acumulada
	9,5	0
	6,3	0
	4,8	0,12
	2,4	3,87
	1,2	23,63
	0,6	53,77
	0,3	74,89
	0,15	94,17
	Fundo	100,00
Diâmetro máx. característico (mm)		2,4
Diâmetro mín. característico (mm)		< 0,15
Módulo de finura		2,50
Massa específica (kg/dm ³)		2,62

Tabela 1 - Caracterização física da areia

Tempo de início de pega

O tempo de início de pega foi estimado a partir do acompanhamento da evolução da temperatura em um calorímetro semi-adiabático. As medidas de temperatura foram determinadas por meio de termopares conectados a um sistema de aquisição de dados. De acordo com Aïtcin (2000b) e Mehta e Monteiro (2000), o início de pega é representado pelo início da ascensão da curva temperatura *versus* tempo, que está relacionado a uma maior taxa de calor liberado pela mistura após o período de dormência, devido à formação dos compostos hidratados de cimento Portland. Os termopares utilizados foram do tipo K. Imediatamente após a mistura, as argamassas foram vertidas nos recipientes porta-amostra com isolamento térmico, constituídos de revestimento externo de alumínio e revestimento interno isolante térmico de poliestireno

expandido (isopor), como ilustra a Figura 2. A massa da amostra de argamassa era de 250 g. As leituras foram feitas a cada minuto, até que a curva de temperatura *versus* tempo apresentasse um pico e estivesse em declínio.

Somente para o estudo da pega produziu-se argamassa sem adição de aditivo, tendo como objetivo possibilitar a obtenção de uma referência, mais ilustrativa do que prática, para esses resultados. A comparação dos resultados de resistência à compressão e perda de capacidade de deformação no estado fresco com argamassas de mesma água/cimento e sem adição de aditivos, normalmente chamadas de misturas de referência, não tem sentido prático, já que seriam composições com “trabalhabilidade” muito distinta daquelas das argamassas com aditivo. Dessa forma, não foram produzidas argamassas “referência” para a análise dessas propriedades.



Figura 2 - Amostra e porta-amostra para o CP de argamassa do calorímetro semi-adiabático

Aditivo dispersante	Aditivo L	Aditivo N	Aditivo P
Composição química	Lignossulfonato	Nafataleno sulfonato	Policarboxilato
Densidade (kg/l)	1,08 ± 0,02 g/cm ³	1,21 ± 0,02 g/cm ³	1,07 a 1,11 g/cm ³
Estado físico	Líquido	Líquido	Líquido
Teor de sólidos (%)	22,0	40,0	30,0
Dosagem recomendada pelo fabricante (% m.c.)	0,2 – 0,45	0,8 – 1,5	0,5 – 0,8

Tabela 2 - Principais características dos aditivos segundo o fabricante

	Cimento	CP V ARI RS	CP II Z	CP IV
Lignossulfonato (L)	Teor (% m. c.)	0,45	0,1	0,3
	Abertura (cm)	13,9	15,3	13,6
Naftaleno sulfonato (N)	Teor (% m. c.)	0,5	0,1*	0,3
	Abertura (cm)	14,0	15,3	13,6
Policarboxilato (P)	Teor (% m. c.)	0,1	0,1*	0,1
	Abertura (cm)	14,0	14,2	13,4

* Teor mínimo indicado pelo fabricante. Observou-se leve segregação da mistura.

Tabela 3 - Teores de aditivos adotados e aberturas iniciais na mesa de consistência

Resistência à compressão

Foram moldados corpos-de-prova de 5x10 cm para a determinação da resistência à compressão com 1, 7 e 28 dias (ABNT, 1992). Moldaram-se três CPs de cada argamassa para ruptura à compressão nas idades de 1 dia, 7 dias e 28 dias. Foi adotada como resistência à compressão a média dos dois maiores resultados obtidos.

Todos os CPs foram curados em câmara úmida, ficando imersos em água saturada de cal até a idade de rompimento. Para nivelamento das superfícies dos topos, os CPs para rompimento aos 28 dias foram capeados com enxofre de acordo

com a NBR 5739 (ABNT, 1990b), enquanto os demais não foram capeados.

Os ensaios de ruptura à compressão foram realizados conforme a NBR 5739 (ABNT, 1990b).

Resultados e discussão

Perda de consistência

Com relação à abertura inicial, as combinações que apresentaram menor perda de fluidez foram as que empregaram o cimento CP IV e os aditivos à base de poliacarboxilato e naftaleno sulfonato de sódio, enquanto o pior desempenho foi observado quando se combinou o cimento CP II Z com os aditivos à

base de lignossulfonato de sódio e naftaleno sulfonato de sódio.

Com a aplicação de golpes na mesa de consistência, o comportamento das misturas foi bastante alterado. As combinações que apresentaram maior perda de fluidez foram: cimento CP II Z com aditivo à base de naftaleno; CP V ARI RS com naftaleno; e CP IV com lignossulfonato. Os melhores desempenhos foram verificados com as seguintes misturas:

(a) CP II Z com lignossulfonato, que apresentou uma queda de 10% na abertura até 30 min, permanecendo praticamente constante até a última leitura (2 h);

(b) CP IV com naftaleno, que apresentou queda de 5% até 30 min e mais 5% até 60 min, tornando-se menos deformável após esse período; e

(c) CP II Z com policarboxilato, que sofreu redução de 10% até 60 min, e, em seguida, perdeu mais acentuadamente a capacidade de se deformar a uma taxa mais acentuada que a das misturas anteriores.

Os dados obtidos na abertura da mesa de consistência, determinados logo após a mistura, estão apresentados na Tabela 4. As Figuras 3 e 4 mostram a perda de fluidez das argamassas a partir da abertura inicial e ao aplicarem-se 15 golpes (quedas) da mesa de consistência respectivamente.

	CP V ARI RS			CP II Z			CP IV		
	L	N	P	L	N	P	L	N	P
Inicial	13,9	14,0	14,0	15,3	15,2	14,2	13,6	13,6	13,4
5 golpes	18,9	22,0	21,9	25,0	26,3	23,5	22,9	21,5	21,3
10 golpes	23,3	26,3	25,9	29,4	30,5	28,6	27,1	25,5	26,1
15 golpes	26,0	28,8	28,7	31,7	33,7	30,6	29,6	28,4	28,7

Tabela 4 - Abertura na mesa de consistência imediatamente após a mistura (cm)

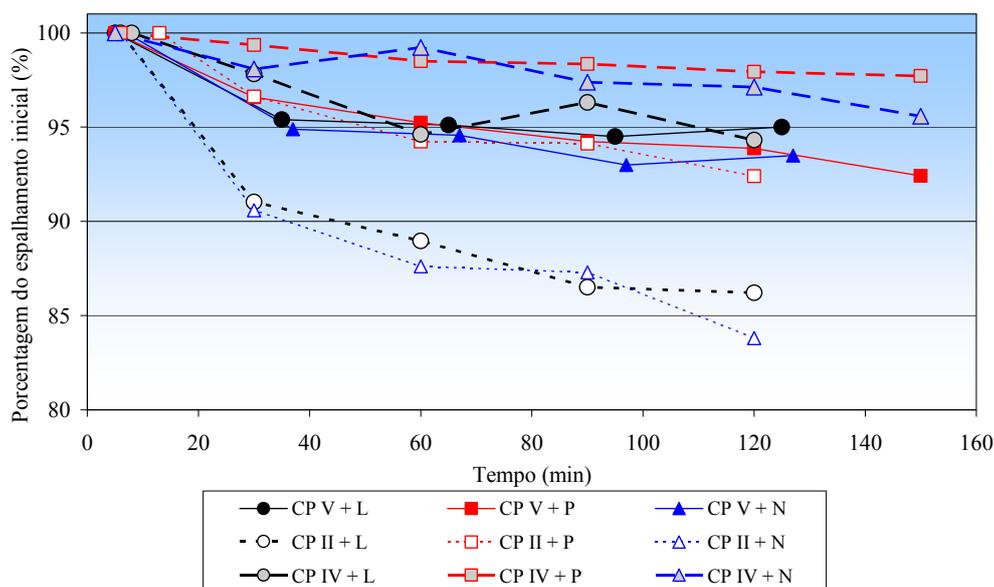


Figura 3 - Perda da capacidade de deformação no estado fresco a partir da abertura inicial (sem golpes)

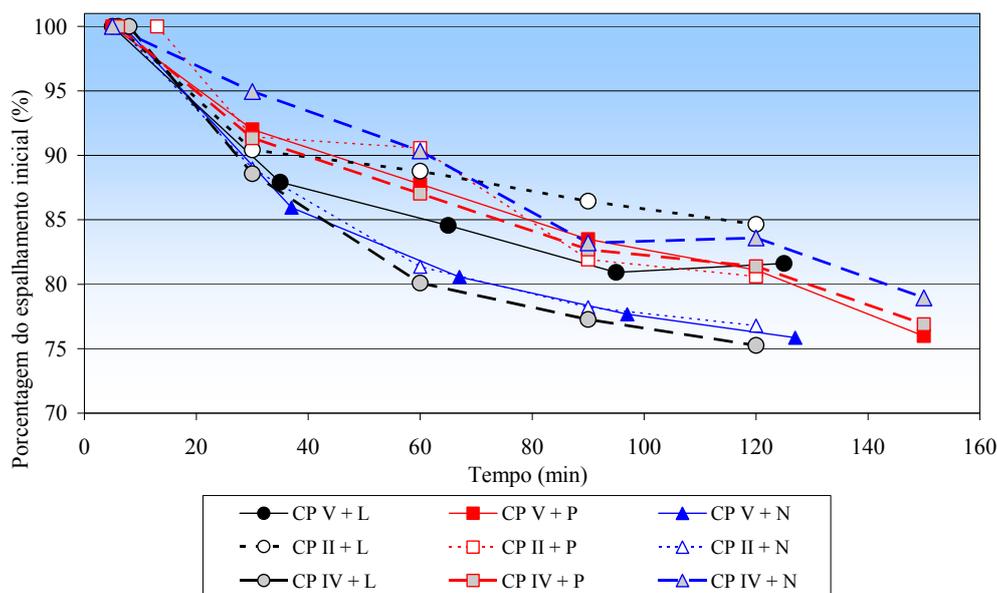


Figura 4 - Perda da capacidade de deformação no estado fresco a partir da abertura inicial (após 15 golpes)

Tempo de início de pega

Para exemplificar os resultados obtidos nos ensaios no calorímetro semi-adiabático, na Figura 5 apresentam-se as curvas de evolução de temperatura obtidas na hidratação do cimento CP V.

Em relação às argamassas sem aditivo, para todos os cimentos foi observado grande retardo no tempo de início de pega quando o aditivo à base de lignossulfonato foi utilizado. Esse retardo foi mais expressivo nas combinações com os cimentos CP IV e CP V ARI RS, correspondendo a 11 h e 9 h respectivamente. Já no caso do cimento CP II Z, o retardo foi de 5 h. Os demais aditivos provocaram um retardo de aproximadamente 2 h quando combinados com os cimentos CP IV e CP II Z, porém, no caso do CP V ARI RS, praticamente não houve influência no tempo de início de pega. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 6.

Resistência à compressão

Os resultados de resistência obtidos nas idades de 1, 7 e 28 dias estão apresentados na Figura 7.

As maiores resistências foram atingidas com o cimento CP V ARI RS, em todas as idades ensaiadas. O desenvolvimento da resistência foi

mais lento com o uso de aditivo à base de lignossulfonato, porém, aos 28 dias, as resistências praticamente se igualaram às das argamassas preparadas com os demais aditivos. Com exceção da argamassa com lignossulfonato, na idade de 1 dia as demais misturas já haviam alcançado resistência correspondente a aproximadamente 30% da obtida aos 28 dias.

A argamassa produzida com cimento CP II Z e aditivo à base de naftaleno sulfonato apresenta a menor resistência à compressão à idade de 1 dia, sendo que para os demais cimentos a menor resistência inicial ocorreu para as misturas produzidas com aditivo de base lignossulfonato. Chama a atenção o fato de as argamassas com cimento CP II Z e aditivo de base lignossulfonato apresentarem, nas idades de 7 e 28 dias, resistências significativamente maiores do que as produzidas com os demais aditivos.

O cimento CP IV resultou nas combinações de menor resistência para todas as idades. Em combinação com o aditivo de base lignossulfonato obteve-se resistência extremamente baixa na idade de 1 dia. Aos 7 dias, todas as misturas apresentaram resistências semelhantes; porém, aos 28 dias, a argamassa com lignossulfonato teve resistência ligeiramente inferior a das produzidas com os superplastificantes.

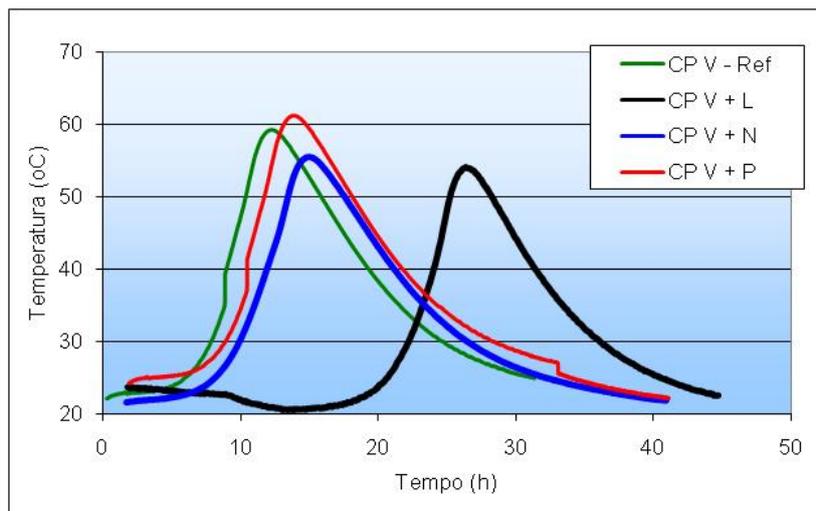


Figura 5 - Curvas de evolução de temperatura na hidratação das misturas produzidas com cimento CP V

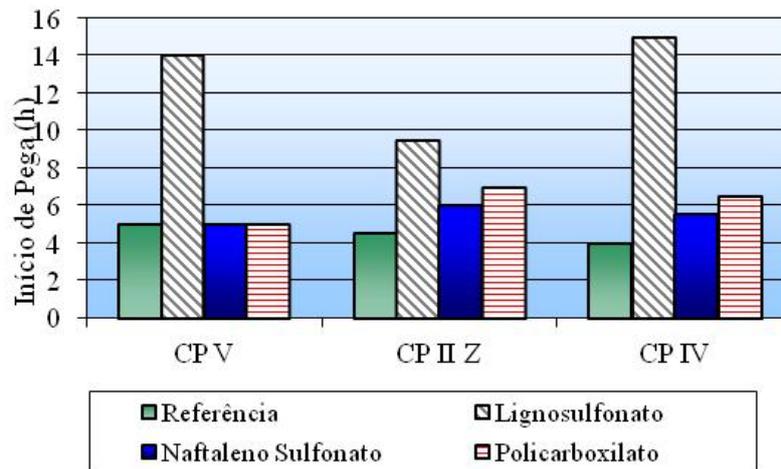


Figura 6 - Tempo de início de pega das diversas misturas estudadas

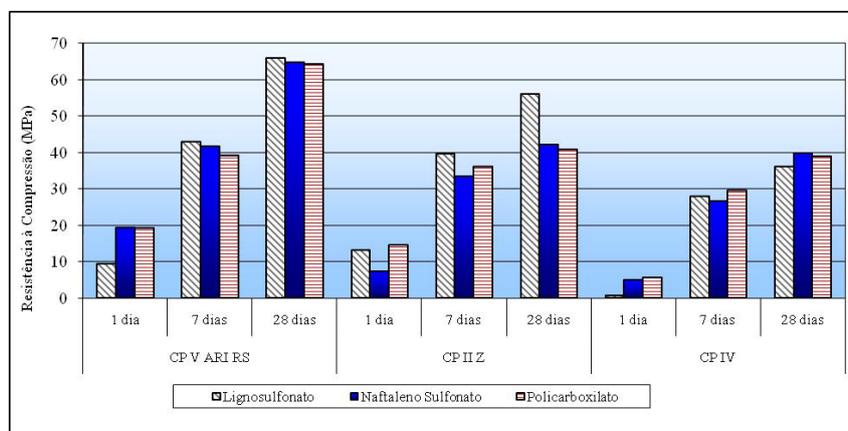


Figura 7 - Resultados de resistência à compressão

Análise de custo e desempenho

O comparativo de custos é apresentado na Tabela 5. Foi adotado como referência o valor obtido para o lignossulfonato nos teores utilizados para cada cimento. Os preços relativos, por litro, dos aditivos empregados nessa análise foram 1:3,2:12,3, referentes a lignossulfonato : naftaleno : policarboxilato.

Para se atingirem as mesmas consistências nas misturas, o aditivo que proporcionou maior economia com os tipos de cimento avaliados foi o lignossulfonato.

Com relação aos superplastificantes, o policarboxilato parece ser mais eficiente em combinação com cimentos mais finos, como o CP V ARI RS. Já, quando esse aditivo foi combinado com cimentos que apresentam menores finuras, principalmente no caso do cimento CP II Z, o aumento no custo foi expressivo.

Deve-se observar, no entanto, que este estudo não objetivou a produção de argamassas (e concretos, por similaridade) de elevada fluidez e baixa relação água/cimento, quando o emprego dos aditivos de base policarboxilato é, na maioria dos casos, a única opção viável em decorrência da limitação de desempenho inerente aos demais aditivos.

Outro aspecto de muito interesse para aplicações práticas é o fato de o uso de aditivo de base lignossulfonato causar o retardo de pega de várias horas às misturas, principalmente para os cimentos CP V ARI RS e CP IV. Nesses casos, apesar de ser a alternativa mais econômica, o uso de aditivo lignossulfonato pode inviabilizar o emprego do concreto nas aplicações onde não se admitem atrasos na pega, como, por exemplo, nos casos de execução de pisos de concreto alisado. Por outro lado, os resultados dessa pesquisa indicam que o uso de aditivos de base naftaleno e policarboxilato pouco afetou o tempo de pega das argamassas estudadas.

Além dos retardos de pega, pode ter ocorrido, ainda, um retardo de endurecimento, uma vez que, para algumas composições, as resistências à compressão foram muito baixas na idade de 1 dia.

O aditivo de base policarboxilato é frequentemente indicado como o que confere melhor desempenho na manutenção da fluidez (ABNT, 1990a; DAY, 1995). No entanto, esse comportamento foi observado apenas na combinação com o cimento CP IV para a abertura inicial na mesa de consistência. Já o aditivo de base lignossulfonato, quando utilizado com o cimento CP II Z, foi um

dos piores em termos de abertura inicial, mas apresentou a menor perda de fluidez entre todas as combinações. Esse comportamento também está em desacordo com o que dizem Hanehara e Yamada (1999), para quem o aditivo de base lignossulfonato apresenta rápida perda de fluidez devido, principalmente, à intensa formação de etringita a partir da fase intersticial.

O uso de aditivos não alterou significativamente os resultados de resistência à compressão aos 28 dias, à exceção do cimento CP II Z combinado com os aditivos de base naftaleno e policarboxilato, quando houve diminuição da resistência.

Como já salientado, o aditivo de base lignossulfonato foi o que proporcionou maior economia em virtude de seu baixo preço, o que explica e justifica seu uso em larga escala pelas concreteiras. Apesar da eficiência do aditivo de base policarboxilato em aumentar a fluidez com pequenas dosagens, seu preço ainda é muito elevado em relação aos demais aditivos e, por esse motivo, seu uso fica limitado a aplicações de concretos de alto desempenho, para os quais os demais aditivos não promovem a dispersão suficiente e necessária das partículas de cimento. Como exemplos, podem-se citar o concreto auto-adensável e o concreto de alta resistência.

Quando a análise de compatibilidade entre aditivo e cimento tem como objetivo a aplicação tecnológica dos resultados, em geral pode ser feita em argamassa, mediante o emprego de ensaios simplificados de caracterização, como os empregados nesta pesquisa. Nesse caso, os resultados em argamassa podem satisfatoriamente ser empregados na definição de parâmetros para a produção de concreto, resultando em mais agilidade e menor custo na análise das interações entre cimento e aditivo. Quando uma análise mais apurada é necessária, deve-se avaliar mais profundamente a composição química dos cimentos, com atenção especial aos sulfatos (tipo e o teor) e aos teores de C_3A e álcalis, que têm grande influência na interação com os aditivos.

Como as interações entre aditivo e cimento resultam de interações físicas e químicas de grande complexidade, deve-se esperar que os resultados das análises de compatibilidade sejam válidos somente para as temperaturas nas quais os ensaios são realizados. Outro fator a ser sempre considerado é a relação água/cimento (volumétrica), pois, quanto menor a quantidade de água, maior a possibilidade de haver interações entre cimento e aditivo que afetem as propriedades das misturas.

		CP V ARI RS	CP II Z	CP IV
Lignossulfonato	Teor (% m. c.)	0,45	0,1	0,3
	Custo (un.)	1	1	1
Naftaleno sulfonato	Teor (% m. c.)	0,5	0,1	0,3
	Custo (un.)	3,5	3,2	3,2
Policarboxilato	Teor (% m. c.)	0,1	0,1	0,1
	Custo (un.)	2,7	12,3	4,1

Tabela 5 - Comparativo de custos entre as combinações entre cimento e aditivo estudadas

Conclusões

Os resultados desta pesquisa ratificam a importância de se avaliar a compatibilidade entre aditivo e cimento como forma de se obter o melhor desempenho dos concretos e argamassas a serem utilizados na prática. Para os materiais estudados e para a temperatura na qual os ensaios foram realizados, conclui-se que:

- (a) a perda de capacidade de deformação no estado fresco pode ser intensa mesmo quando se utiliza aditivo de base policarboxilato, mas o desempenho de cada aditivo é muito particular para cada tipo de cimento;
- (b) o aditivo de base lignossulfonato promoveu retardo acentuado de pega e endurecimento para todos os tipos de cimento analisados, e pouca foi a diferença de comportamento entre as argamassas produzidas com os aditivos de base naftaleno sulfonato e policarboxilato: ambos causaram retardo de no máximo 2 h no tempo de pega;
- (c) o efeito dos aditivos na evolução da resistência à compressão é distinto para cada tipo de cimento. O aditivo de base lignossulfonato promove diminuição da resistência à idade de 1 dia para os cimentos CP V ARI RS e CP IV, sendo drástica para esse último. A evolução da resistência foi bastante similar para as argamassas preparadas com os aditivos de base naftaleno sulfonato e policarboxilato;
- (d) para se obter a consistência estipulada para as argamassas deste estudo, o custo das misturas é significativamente menor quando se emprega aditivo de base lignossulfonato. Para concretos com abatimento convencional (de 8 cm a 12 cm) e quando o retardo no tempo de pega é um fator aceitável na aplicação, o uso de aditivo de lignossulfonato é a opção mais econômica. Os

teores de aditivo de base policarboxilato diminuíram para as argamassas produzidas com os cimentos mais finos (CP V ARI RS, em especial), tornando seu custo mais competitivo quando são empregados esses cimentos; e

(e) os estudos de compatibilidade entre aditivo e cimento são uma necessidade quando se pretende racionalizar os custos de produção e obter concretos de mais elevado desempenho. Podem ser realizados em argamassa para aplicação dos resultados em concreto.

Referências

- AÏTCIN, P. Cements of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 9, p. 1349-1359, jul. 2000a.
- AÏTCIN, P. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: PINI, 2000b. 667 p.
- AÏTCIN, P.; JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. G. Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't. **Concrete International**, v. 16, n. 5, p. 45-52, maio 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1990a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9832**: concreto e argamassa: determinação dos tempos de pega por meio da resistência à penetração. Rio de Janeiro, 1992.

COLLEPARDI, S. *et al.* Mechanisms of Actions of Different Superplasticizers for High-Performance Concrete. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE IN HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 2., Gramado, 1999. **Proceedings...** Gramado: ACI, 1999. p. 503-523.

DAY, K. W. **Concrete Mix Design, Quality Control and Specification**. Londres: E & FN SPON, 1995. 350 p.

HANEHARA, S.; YAMADA, K. Interaction Between Cement and Chemical Admixture from the Point of Cement Hydration, Absorption Behaviour of Admixture and Paste Rheology. **Cement and Concrete Research**, v. 29, n. 8, p. 1159-1165, ago. 1999.

HOVER, K. C. Concrete Mixture Proportioning with Water-Reducing Admixtures to Enhance Durability: a quantitative model. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, n. 2/3, p. 113-119, 1998.

JIANG, S.; KIM, B. G.; AİTCIN, P. C. Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement/Superplasticizer Compatibility. **Cement and Concrete Research**, v. 29, n. 1, p. 71-78, 1999.

JOLICOEUR, C.; SIMARD, M. A. Chemical Admixture-Cement Interactions: phenomenology and physico-chemical concepts. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, n. 2/2, p. 87-101, 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 2000. 573 p.

RAMACHANDRAN, V. S. *et al.* **Superplasticizers**: properties and applications in concrete. Ottawa: CANMET, 1998.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. P. **Chemical Admixtures for concrete**. Londres: E and FN Spon, 1999.

RONCERO, J. **Effect of Superplasticizers on the Behavior of Concrete in the Fresh and Hardened States**: implications for high performance concretes. 2000. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Politécnic da Catalúnia, Barcelona, 2000.