



AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS ADITIVOS ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO E INCORPORADOR DE AR EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND

Tema: Tecnologia dos materiais.

Grupo: 1

JULIANA P. ANTONIAZZI¹, GIHAD MOHAMAD², JULIANA M. CASALI³, TOBIAS P. OTTONI⁴,
RUAN B. RODRIGUES⁵

¹Prof^a Ms, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Santa Maria/UFSM, juliana.antoniazzi@ufsm.br

²Prof Dr, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Santa Maria/UFSM, gihad.civil@gmail.com

³Prof^a Dr^a, Instituto Federal de Santa Catarina/IFSC, juliana.casali@ifsc.edu.br

⁴Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFSM, engenhariaothoni@gmail.com

⁵Aluno de Graduação em Engenharia Civil (bolsista IC) – UFSM, ruanbrumr@gmail.com

RESUMO

A argamassa estabilizada contém aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação, aumentando sua trabalhabilidade e período de aplicação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a ação desses aditivos em pastas de cimento Portland, determinando viscosidade, densidade de massa, ar incorporado e tempo de pega. Também foram avaliadas capilaridade, densidade de massa e resistência. Os resultados demonstraram interferência e ação cruzada de efeitos entre os aditivos. O aditivo estabilizador de hidratação proporcionou maior fluxo de água por capilares, contrariamente ao aditivo incorporador de ar. A resistência mecânica das pastas com altos teores de aditivo estabilizador de hidratação foi comprometida.

Palavras-chave: aditivo estabilizador de hidratação, aditivo incorporador de ar, pasta.

EVALUATION OF THE EFFECT OF HYDRATION STABILIZING ADMIXTURE AND AIR-ENTRAINED ADMIXTURE IN PORTLAND CEMENT PASTES

ABSTRACT

The ready mix mortar has the air-entrained admixture and hydration stabilizing admixture in its composition, increasing its workability and application time. The objective of this work was to evaluate the action of these admixtures in cement pastes, determining viscosity, specific gravity, air entrained and setting time. Capillarity, specific gravity and strength were also evaluated. The results demonstrated effects interference and cross action between the admixtures. The hydration stabilizing admixture provided greater capillary water flow, unlike the air-entrained admixture. The mechanical strength of high content hydration stabilizing admixture pastes was compromised.

Key-words: hydration stabilizing admixture, air-entrained admixture, cement paste.

Promoção:



Realização:



Co-realização:





1. INTRODUÇÃO

O emprego da argamassa estabilizada no Brasil vem crescendo ao longo dos anos, uma vez que, trata-se de um produto que chega à obra pronto para ser utilizado, mantendo suas propriedades por até 72 horas. Ao mesmo tempo, frequentemente constata-se ampla faixa de variabilidade nas propriedades entre os diferentes lotes fornecidos pelos fabricantes de argamassas, demonstrando potencial instabilidade do produto.

Essa pesquisa teve como objetivo avaliar a reação dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação, ambos empregados em argamassas estabilizadas, quando adicionados à pasta de cimento portland, desprezando-se, assim, o efeito do agregado miúdo.

2. MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa foram escolhidos de acordo com o empregado em uma empresa de argamassas estabilizadas atuante na região sul. O cimento empregado foi o CP II-F 40, com massa específica de $3,09 \text{ g/cm}^3$, finura de 0,38% (#0,075 mm), água de consistência de 29% e tempo de início de pega de 5h33min (Agulha de Vicat). Foram utilizados um aditivo incorporador de ar (AIA) e um aditivo estabilizador de hidratação (AEH), conforme características técnicas contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados técnicos dos aditivos.

Característica	Aditivo Incorporador de Ar (AIA)	Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH)
Substância	Lauril éter sulfato de sódio (C-10/ C-16) – 50 - 70%	-
Densidade	0,98 – 1,20 (g/cm ³)	1,15 – 1,19 (g/cm ³)
Dosagem	0,1 – 0,5 (% da massa do cimento)	0,2 – 1,5 (% da massa do cimento)
Cor	Amarelo	Marrom claro
PH	7,00 – 9,00	5,00 – 7,00
Solubilidade	Solúvel em água	Solúvel em água

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram analisadas 9 pastas de cimento Portland, com a mesma relação água/ aglomerante de 0,4, variando-se os teores de AIA (0 %, 0,3 % e 0,5 %) e AEH (0 %, 0,75 % e 1,5 %), conforme a Tabela 2 (teores e denominação), em relação à massa de cimento. Os teores de aditivos foram estabelecidos com base nos valores utilizados pelas empresas fornecedoras de argamassas da região sul.

Tabela 2 – Teores de aditivos e denominação das pastas de cimento Portland estudadas.

Mistura	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
AEH (%)	0,00	0,75	1,50	0,00	0,00	0,75	0,75	1,50	1,50
AIA (%)	0,00	0,00	0,00	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,50

Promoção:



Realização:



Co-realização:





O procedimento de mistura das pastas foi constante. Em uma argamassadeira de 5 litros com movimento planetário, inicialmente foi colocado todo o material líquido na cuba (na presença de aditivos, foi realizada a mistura destes com a água em velocidade baixa durante 20 s para homogeneização). Foi adicionado o cimento Portland e misturou-se por 60 s em velocidade baixa. O equipamento foi desligado durante 15 s para a raspagem das laterais da cuba. Em seguida, o equipamento foi novamente ligado por 120 s em velocidade alta.

No estado fresco foram avaliadas a densidade de massa e o teor de ar incorporado⁽¹⁾, a viscosidade (Viscosímetro *Brookfield*) e o tempo de início de pega (calorimetria semi-adiabático). No estado endurecido avaliou-se o coeficiente de capilaridade⁽²⁾, a resistência à tração e à compressão⁽³⁾ e a densidade de massa aparente⁽⁴⁾. Empregou-se as normas de argamassas para os ensaios de pastas para em um trabalho futuro comparar resultados entre pastas e argamassas sob os mesmos métodos de avaliação.

Para a realização do ensaio de viscosidade, no viscosímetro *Brookfield*, foi padronizado 25 rpm e o *spindle* número 29, o qual submergiu em amostras de 25 g de pasta de cimento Portland. O ensaio iniciou após decorridos 540 s do término da mistura. Foram realizadas leituras nos períodos de 0, 300, 600 e 900 s, sempre após 60 s de estabilização do ensaio. Após cada leitura o aparelho era desligado e a mistura permanecia em repouso até a próxima leitura. Após a última leitura, o equipamento ficou constantemente ligado e foram realizadas novas leituras aos 1200, 1380 e 1560 s. A fim de se reduzir a componente inercial do ensaio, foi calculada a viscosidade cinemática (m^2/s) das pastas, razão entre a viscosidade aparente medida (Pa.s) e a densidade de massa (g/cm^3) de cada uma.

O método utilizado para a determinação do tempo de início de pega das pastas foi o do calorímetro semi-adiabático, o qual fez associação entre os tempos de pega e as curvas de evolução de temperaturas devido às reações de hidratação do cimento, monitorados ao longo de 48 horas. As medições foram programadas para registro a cada minuto. A análise dos gráficos para estimativa do tempo de início de pega foi feito pelo método das tangentes.

As análises foram realizadas no programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0). A normalidade de distribuição foi verificada com o teste de *Shapiro-Wilk*. Os resultados entre as diferentes pastas foram comparados por meio dos testes estatísticos ANOVA e *post hoc* de *Tukey* ($p < 0,05$).

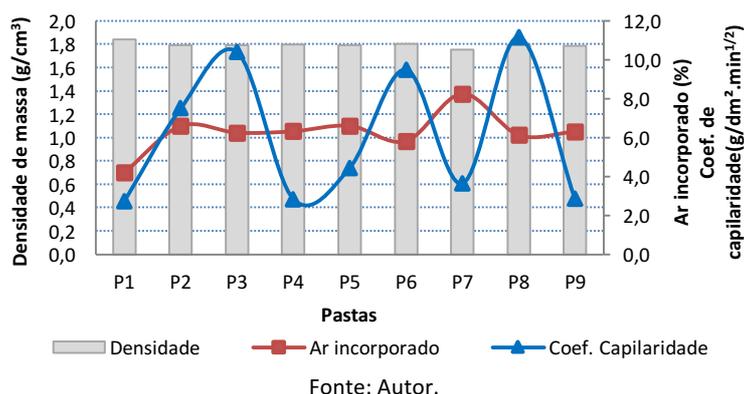
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para as 9 pastas de cimento Portland estudadas, quanto ao teor de incorporação de ar, densidade de massa e capilaridade estão apresentados no gráfico da Figura 1. Percebe-se que, quanto à densidade de massa, foram obtidos valores muito próximos a $1,8 g/cm^3$ para quase todas as pastas, com exceção de P1 ($1,84 g/cm^3$) e P7 ($1,75 g/cm^3$). O teor de ar também se manteve constante entre as pastas ($p > 0,05$), atingindo em média 6%, inclusive em P2 e P3, que receberam somente AEH, e em P4 e P5, com diferentes teores de AIA. A exceção também



foram P1 e P7, onde foram obtidos 4,21 % e 8,25 %, respectivamente, valores estatisticamente diferentes dos demais ($p < 0,05$). Nesse caso, não foi observada relação direta entre a incorporação de ar em pastas e a quantidade de aditivos adicionados.

Figura 1 – Teor de ar incorporado, densidade de massa no estado fresco e coeficiente de capilaridade



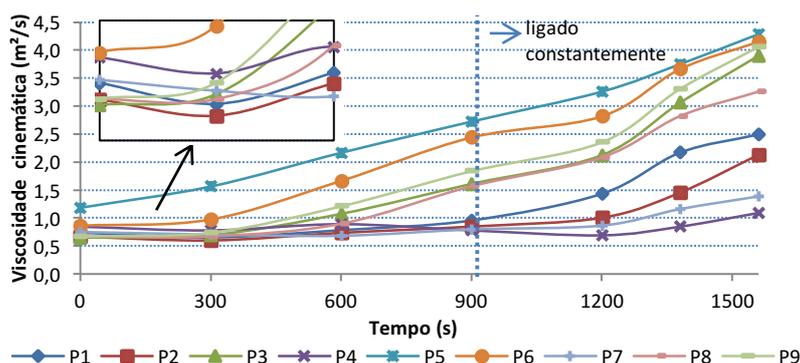
A pasta P7 incorporou 1,95 % de ar a mais do que a P9 (mesmo teor de AIA e o dobro de AEH) e 2,43 % a mais do que a P6 (mesmo teor de AEH e menor teor de AIA). Já quando comparado à P5 (somente com AIA, em igual teor) apresentou 1,65 % a mais de ar na pasta, o que poderia estar associado à parcela de incorporação por parte do AEH. Analisando as demais pastas com aditivos combinados, observa-se, então, que não ocorre somatório de efeitos obtidos nas pastas com aditivos isolados. É importante ressaltar a diferença da análise da incorporação de ar em pastas e em argamassas, uma vez que a presença do agregado altera as condições de ancoragem das micelas formadas pelas moléculas de AIA⁽⁵⁾.

O coeficiente de capilaridade apresentou valores mais distintos entre as pastas estudadas, sendo os resultados para P1, P4 e P9 semelhantes entre si ($p > 0,05$), próximos a 3,0 g/dm².min¹/², enquanto as demais pastas tiveram resultados distintos ($p < 0,05$). Nas pastas somente com AEH (P2 e P3) foram encontrados coeficientes de capilaridade bastante superiores aos obtidos nas pastas somente com AIA (P4 e P5), para incorporações de ar similares. Porém, nas pastas com aditivos combinados (P6, P7, P8 e P9) foi observado uma tendência onde, para um mesmo teor de AEH, aumentando-se o teor de AIA, a capilaridade diminuiu. Na mistura P1, com o menor teor de ar incorporado (4,21 %), obteve-se o menor coeficiente de capilaridade (2,73 g/dm².min¹/²). Comparando-se as demais pastas com P1, percebe-se que todas possuem maior teor de ar incorporado e, ao mesmo tempo, maior coeficiente de capilaridade. Logo, nesse estudo em pastas, nem sempre foi verificada a teoria de que a absorção capilar é reduzida pela presença de bolhas de ar por interromperem a passagem de líquidos pelos canais capilares⁽⁶⁾. O potencial capilar depende, dentre outros fatores, das características dos poros, como o raio, a tortuosidade e a conectividade⁽⁷⁾. A capilaridade apresentou-se maior nas pastas que receberam somente AEH e, dentre as pastas com aditivos combinados, naquelas com menor teor de AIA.



Os resultados quanto à viscosidade cinemática das pastas ao longo dos 1560 s ensaiados estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Viscosidade das pastas de cimento



Fonte: Autor.

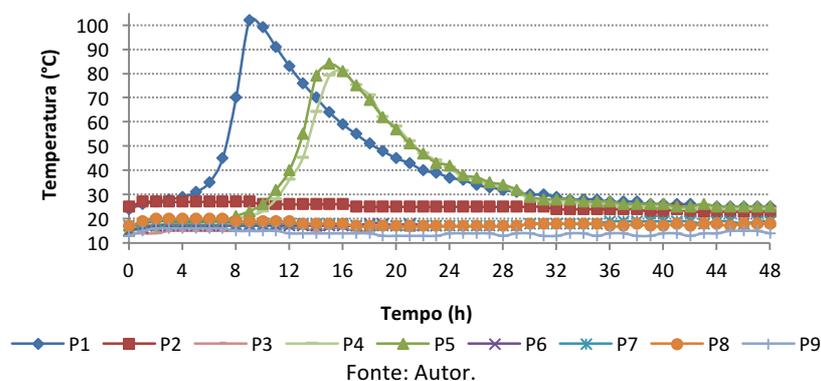
As pastas P3, P5, P6, P8 e P9 apresentaram comportamentos similares quanto à viscosidade cinemática, com medidas crescentes ao longo de todo o ensaio, isto é, quanto maior o tempo em aberto das pastas, maior a resistência ao fluxo. O que também foi observado em P1, P2, P4 e P7, porém, com elevação mais brusca de viscosidade após o viscosímetro permanecer constantemente ligado, ultrapassando 200 % da viscosidade inicial para P1 e P2. A pasta P7, com maior teor de incorporação de ar, ficou dentre as pastas menos viscosas, indo contra a teoria que afirma que, em pastas, ocorre ganho de consistência com o aumento do teor de ar incorporado devido ao efeito ponte entre as partículas de cimento⁽⁸⁾⁽⁹⁾. Neste caso, o resultado poderia estar vinculado ao efeito dispersante do AEH empregado na mistura, no entanto, mesmo para as pastas sem AEH este fenômeno não foi observado. A pasta que se mostrou menos viscosa ao longo do tempo de ensaio foi a P4, que recebeu 0,30 % de AIA.

Conforme o estudado, ambos os aditivos incorporaram ar às pastas, porém, possivelmente as bolhas incorporadas por cada um não possuem a mesma estabilidade, uma vez que, o AIA carrega eletrostaticamente as bolhas de ar com mesma carga, gerando repulsão e diminuindo a tendência de coalescência⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾. Ao serem submetidas ao ensaio de viscosidade, a rotação do *spindle* imerso na pasta promove um fluxo no seu entorno que pode fazer com que as bolhas de ar instáveis entrem em colapso, proporcionando um aumento de viscosidade.

As curvas de monitoramento de temperatura ao longo de 48 horas, para as 9 pastas de cimento Portland estudadas estão apresentados na Figura 3. Observa-se a curva de elevação de temperaturas das pastas P1, P4 e P5, a qual não ocorreu nas demais pastas durante o período monitorado, sendo possivelmente superior a 48 horas devido à ação de retardo do AEH sobre todos os minerais de clínquer⁽¹¹⁾⁽¹²⁾. Assim, somente foi estimado o tempo de início de pega para as pastas sem o AEH.



Figura 3 – Curvas de evolução de temperaturas das pastas ao longo de 48 horas



Pelo método das tangentes, obteve-se tempo de início de pega de 6,5 h para A1, enquanto para P5 obteve-se em 11 h e para P4 em 11,5 h. Obteve-se um retardo de pega de até 5 h em relação à P1 (mistura de referência), proporcionado apenas pelo AIA, uma vez que P4 e P5 só possuem esse aditivo. Ao mesmo tempo, esse retardo não demonstrou ser proporcional ao teor de AIA empregado, conforme demonstram as curvas de P4 e P5. Para uma mesma proporção água/aglomerante, o AIA proporcionou um afastamento maior das partículas de cimento⁽¹³⁾, o que talvez tenha ocasionado um retardo no início das reações.

Na Figura 4 estão apresentados os resultados de resistência mecânica e de densidade de massa no estado endurecido, aos 28 dias. É possível perceber que as pastas P3, P8 e P9, ambas com teor máximo ensaiado de AEH (1,50 %), tiveram suas resistências estatisticamente semelhantes entre si ($p > 0,05$), com valores bem inferiores às demais pastas, o que também foi observado pelas menores densidades de massa obtidas no estado endurecido.

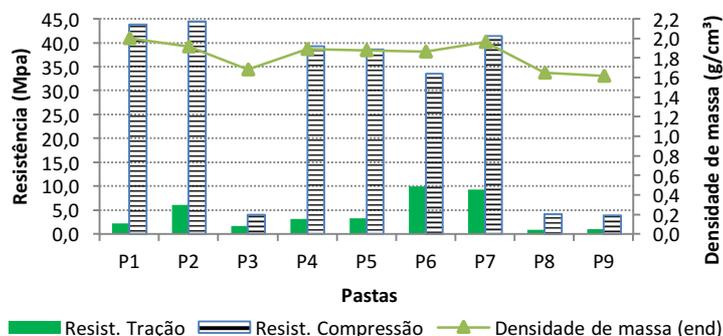
Comparando-se P3 com P2, o teor de AEH foi duplicado enquanto a resistência à compressão atingiu aproximadamente 10 % e à tração 28 % dos valores obtidos em P2. Esta alta dosagem de aditivo possivelmente tenha influenciado no processo de hidratação do cimento, podendo ter retardado também as propriedades no estado endurecido das pastas.

As pastas P1 e P2 atingiram as maiores resistências à compressão, próximas a 44 MPa. Quanto à resistência à tração, percebe-se que o AEH, em teor moderado contido em P2, triplicou os resultados obtidos em P1.

As pastas P6 e P7 foram as que atingiram as maiores resistências à tração, ultrapassando P1 em mais de quatro vezes. Já na resistência à compressão, a mistura P7 apresentou valor 23 % maior que P6, mesmo com maior teor de AIA. Analisando P4 e P5, em comparação com P1, as resistências à compressão ficaram muito próximas entre si, alcançando quase 90 % de P1, o que, estatisticamente, foi considerado igual ($p > 0,05$). Já as resistências à tração ficaram em torno de 40 % maiores que P1, demonstrando que o AIA, nos teores utilizados, não prejudicaram as pastas quanto à resistência.



Figura 4 – Resistência mecânica versus densidade de massa no estado endurecido (28 dias)



Fonte: Autor.

5. CONCLUSÕES

Os resultados de teor de ar incorporado reforçaram a hipótese de que existe um ponto de saturação das moléculas dos aditivos a partir do qual os efeitos já não são significativos, isto é, mesmo aumentando o teor de AIA, o teor de ar incorporado permaneceu constante. Foi observado nesta pesquisa que o AEH também é responsável por uma parcela de incorporação de ar nas pastas, porém, quando combinado ao AIA, o efeito observado não foi proporcionalmente acumulativo.

Os resultados dos ensaios de capilaridade sugerem que o uso do AEH possivelmente proporcione maior fluxo por capilares, efeito esse, reduzido pelo uso do AIA. Fazendo um comparativo com o teor de ar incorporado, o comportamento apresentado pelas pastas indicou que a capilaridade possa estar mais ligada às características das bolhas incorporadas do que com a quantidade de ar propriamente dita.

A viscosidade das pastas, ao longo do tempo, possivelmente tenha correlação com a estabilidade das bolhas incorporadas e não com o teor de ar incorporado.

Pelos resultados obtidos na calorimetria, o AIA também pode influenciar no tempo de início de pega das pastas (aumento do tempo). Para as pastas aditivadas com AEH o tempo de início de pega foi superior a 48 horas (tempo de monitoramento).

O uso do AEH, quando em teores moderados, elevou a resistência à tração das pastas, porém, quando empregado em altos teores, acabou diminuindo tanto a resistência à tração quanto à compressão aos 28 dias. Já o emprego do AIA demonstrou reduzir a resistência à compressão das pastas, porém, nos teores empregados na pesquisa, esta redução não foi significativa.

Cabe ressaltar que as pastas possuem comportamento distinto das argamassas, uma vez que, a presença do agregado influencia diretamente nas propriedades estudadas, não sendo possível a extrapolação dos resultados obtidos nesse trabalho para argamassas.



6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
5. ROMANO, R.C.O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil. Tese de doutorado**. Poli-USP, São Paulo, 2013.
6. RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete admixtures handbook**. Noyes Publications, New York, 1984.
7. ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Tecnologia da UNB, Brasília, 2002.
8. RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**. E & FN SPON, London, 1999.
9. WHITING, D.A.; NAGI, M.A. **Manual on control of air content in concrete**. 2 ed. Illinois: Portland Cement Association, 1998.
10. SANTOS, H. T.; DE LIMA, F. M.; GOMES, M. F. **Estudo das Propriedades Densidade, Estabilidade e Resistência à Compressão de Pasta Leve de Cimento para Poço de Petróleo com o Uso de Incorporador de Ar**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 12, n. 3 168-173, 2017.
11. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Livro, Ed. IBRACON, 2ª edição, 2008.
12. PAOLINI, M. & KHURANA, R. **Admixtures for recycling of waste concrete**. Cement and concrete composites 20, p221-229, 1998.
13. ROMANO, R.C.O.; CINCOTTO, M.A.; PILEGGI, R.G. **Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.18, n.2, 2018.

Promoção:



Realização:



Co-realização:

