INFLUÊNCIA DO TIPO DE MISTURA NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSAS MISTAS PARA REVESTIMENTO AVALIADO POR REOMETRIA ROTACIONAL

Tema: Tecnologia dos materiais
Grupo: 2

RAQUEL R. SANTOS[1], ANA RITA D. COSTA[2], FRANCISCO GABRIEL S. SILVA[3], VANESSA S. SILVA[4]

[1]Graduanda, Universidade Federal da Bahia/UFBA, raquel.ramos.sts@hotmail.com; [2]Mestranda, Universidade Federal da Bahia/UFBA, rita.damasceno@ufba.br; [3]Prof. Dr., Universidade Federal da Bahia/UFBA, fgabriel.ufba@gmail.com; [4]Profª. Drª, Universidade Federal da Bahia/UFBA, vanessass@ufba.br.

RESUMO

Este trabalho visa estudar a influência do processo e sequência de mistura dos materiais no comportamento reológico da argamassa. Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, retenção de água, densidade de massa, teor de ar, avaliação da reologia por reometria rotacional e índice de consistência. Os resultados mostraram que houve forte influência do processo e sequência de mistura no comportamento reológico. A presença do aditivo incorporador de ar diminuiu bruscamente a tensão de escoamento e, a partir dos dados obtidos, foi possível definir um método de mistura mais eficiente do ponto de vista reológico.

Palavras-chave: Reologia, reometria rotacional, argamassa mista, mistura.

TYPE OF MIXTURE INFLUENCE ON RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF COATING MORTARS ASSESSED BY ROTATIONAL RHEOMETER

ABSTRACT

This work aims to study the influence of the process and the mixing sequence of the materials on the rheological behavior of the mortar. Materials characterization, water retention, density, air content, rheology evaluation by rotational rheometry and consistency were performed. The results showed that there was a strong influence of the process and mixture sequence on rheological behavior. The presence of the air-entraining admixture abruptly reduced the yield stress and, from the data obtained, it was possible to define a more rheologically efficient mixing method.

Keywords: rheology, rotational rheometry, cement-lime mortar, mixing procedure.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho da argamassa no estado fresco e, por conseguinte, no estado endurecido é fortemente influenciado pela variação das proporções entre os materiais constituintes, alteração na qualidade dos materiais e, não menos importante, método, tempo e energia de mistura. Esse desempenho tem, ainda, grande influência no aprimoramento de todas as propriedades do revestimento produzido com essa argamassa.

A trabalhabilidade é uma expressão empregada no estudo das argamassas de forma qualitativa, no entanto, as técnicas tradicionais de avaliação de forma pontual no estado fresco são insuficientes para efetuar uma caracterização mais completa da natureza reológica das mesmas. A reometria rotacional apresenta-se como alternativa para aferir quantitativamente a capacidade de uma argamassa fluir e se deformar, quando submetida a uma determinada tensão de cisalhamento.(2) Este método apresenta alta sensibilidade e é considerado, portanto, uma técnica adequada para o estudo comparativo entre os procedimentos de mistura.

Para a produção de argamassas mistas é comum que os trabalhadores responsáveis pelo seu preparo procedam com a homogeneização dos materiais anidros (cimento, areia e aditivos em pó), então adicionem a água de amassamento dissolvida na pasta de cal e finalizem a mistura. Segundo Cardoso et al.(1), o procedimento descrito em norma para argamassas industrializadas, com a adição do material anidro na água, não fornece energia suficiente para desaglomeração e homogeneização das argamassas, causando mudanças no comportamento reológico e grande variação entre bateladas do mesmo material. Considerando que essa variabilidade também seja levada para a microestrutura e para as propriedades no estado endurecido, propuseram a revisão da norma para um procedimento com adição de água de forma fracionada, visando fornecer mais energia ao sistema e melhorando a mistura. Antunes et al.(3) estudaram a influência do tipo de mistura na reologia das argamassas, no que se pôde concluir que a adição progressiva de água no pó é uma sequência recomendada devido à baixa variação reológica. Porém esse e outros estudos disponíveis na literatura dão enfoque apenas para as argamassas industrializadas e não para as mistas. Sob esta perspectiva, o presente trabalho visa avaliar as propriedades reológicas de argamassas mistas de mesmo traço com e sem aditivo incorporador de ar, a partir da reometria rotacional, com duas diferentes metodologias de preparo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Foram avaliadas argamassas mistas compostas por areia natural quartzosa, cimento Portland CP II F 32, cal hidratada CH I, água e aditivo incorporador de ar. A caracterização física dos materiais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização física dos materiais

Material	Norma de Referência	Massa Específica [g/cm^3]	Modulo de finura	Dimensão máxima característica [mm]
Cimento Portland II F 32	ABNT NBR NM 23/2001	3,12	-	-
Cal Hidratada I	ABNT NBR NM 23/2001	2,32	-	-
Areia Quartzosa	ABNT NBR NM 52:2009 ABNT NBR 7211:2005	2,65	1,13	2,36

Baseado na NBR 7681-2/2013 Determinação da "Viscosidade Marsh" de Calda de Cimento para Injeção e levando em consideração uma faixa de fluidez ideal estabelecida pelo Centro Tecnológico da Argamassa (CETA – UFBA) de 13±2s, pôde-se considerar a melhor proporção em massa para a pasta como sendo a de 1:1,5 (cal:água) e com um tempo de maturação de no mínimo 16horas.

As argamassas foram formuladas com a proporção 1:1:8 em volume, correspondendo em massa a 1: 0,767: 6,524 e suas composições são apresentadas na Tabela 2. A relação água/materiais secos foi estabelecida como 24,8% para as argamassas C1 e C3 e 26,0% para C2 e C4, a fim de se obter a consistência adequada para avaliação por reometria. O aditivo incorporador de ar utilizado no trabalho apresenta caráter aniônico e os teores utilizados foram de 1,6% da massa do cimento, de acordo com a indicação do fabricante.

Tabela 2 – Traço unitário em massa

Material	C1	C2	C3	C4
Cimento Portland II F 32	1,000	1,000	1,000	1,000
Cal Hidratada I	0,767	0,767	0,767	0,767
Areia Quartzosa	6,524	6,524	6,524	6,524
Água	2,056	2,156	2,056	2,156
Aditivo	-	-	0,016	0,016

2.2. Métodos

2.2.1. Misturas

Foram utilizados dois métodos de mistura, o primeiro de acordo com a prática comum utilizada para preparo de argamassas mistas em obra na região e o segundo proposto supondo uma melhor distribuição da energia de mistura ao se fracionar o material, ambos sob o mesmo tempo de preparo.

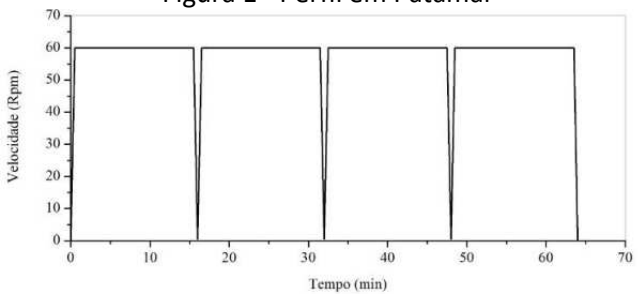
Mistura 1: Mistura em velocidade baixa a Pasta de Cal Hidratada + Água complementar por 30segundos, em seguida adiciona-se todo o material seco previamente homogeneizado, roda mais 60segundos, pausa 15seg para revolver o material manualmente e juntar possíveis partes não homogeneizadas e então mistura por mais 60seg.

Mistura 2: Mistura-se em velocidade baixa por 30segundos a Água complementar mais Incorporador de Ar, adiciona-se a pasta de cal e roda por 30seg, em seguida acrescenta-se o Cimento e roda por 30segundos, por fim completa com a areia e bate por 60segundos.

Reometria rotacional

Devido à falta de normatização brasileira dos procedimentos de análises de argamassas sob a Reometria Rotacional, tomou-se como referência um perfil reológico de solicitação baseado na literatura onde a técnica foi empregada (Figura 1). O estudo do comportamento reológico foi realizado no reômetro rotacional de cilindros coaxiais modelo RHEOTEST RN 4.1. O equipamento possui recipiente cilíndrico com diâmetro interno de 0,120m, no qual a argamassa é inserida e o conjunto então encaixado no suporte de rotação. A medida do torque necessário para o cisalhamento da argamassa é obtida através de um receptor acoplado a uma paleta concêntrica com distância de 0,087m entre suas hastes e 0,071m de profundidade de penetração no material. A velocidade de rotação da palheta no copo pode ser variável de acordo com o tipo de teste programado. Os perfis de solicitação são definidos pelo operador através de curvas de velocidade em função do tempo.

Figura 1 - Perfil em Patamar



Além de descrever o comportamento reológico ao longo do tempo, os dados obtidos através do ensaio com perfil em Patamar permitem a obtenção das curvas de fluxo para o material. Estas curvas são representações da variação do torque em função da velocidade de rotação, a partir das quais é possível determinar constantes proporcionais à viscosidade plástica (H) e à tensão de escoamento (G) através da inclinação da reta e da ordenada na origem, respectivamente, considerando tratar-se de um comportamento Binghamiano típico.[4]

Com a utilização do modelo de Bingham e aplicando a transformada de Reiner-Riwlin[5] serão estimadas as tensões de escoamento e viscosidade plástica das argamassas, de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$\tau_o = \frac{G}{4\pi h}\left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_0^2}\right)\frac{1}{ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{H}{4\pi^2 h}\left(\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_0^2}\right) \quad (3)$$

Onde τ_0 e μ são, respectivamente, tensão de escoamento (Pa) e viscosidade plástica (Pa·s), G(Nm) e H(Nm·s) são os coeficientes linear e angular da curva torque versus velocidade rotacional aplicando o modelo do fluido de Bingham. O h(m) é a profundidade de penetração da paleta na argamassa, enquanto Ri(m) e Ro(m) referem-se, respectivamente, aos raios interno e externo do cilindro.

Além dos parâmetros de viscosidade plástica e tensão de escoamento, as curvas de fluxo permitem a análise do fenômeno de destruição estrutural da mistura através do cálculo da área de histerese. De acordo com Khayat *et al.*[6], essa área é proporcional à energia necessária para destruir a estrutura e promover o fluxo da mistura.

Ensaios Convencionais

As análises convencionais das argamassas no estado fresco foram feitas a partir de suas respectivas normas técnicas:

Quadro 1 - Ensaios de caracterização das argamassas

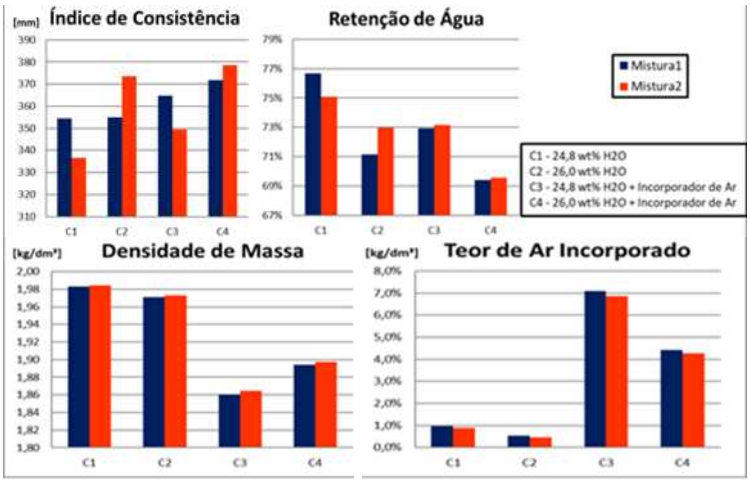
Técnicas de Caracterização	Norma
Índice de Consistência	NBR 13276/2005
Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado	NBR 13278/2005
Retenção de Água	NBR 13277/2005

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Ensaios convencionais

A Figura 2 apresenta os valores obtidos para a caracterização convencional das argamassas no estado fresco.

Figura 2 – Resultados de caracterização no estado fresco

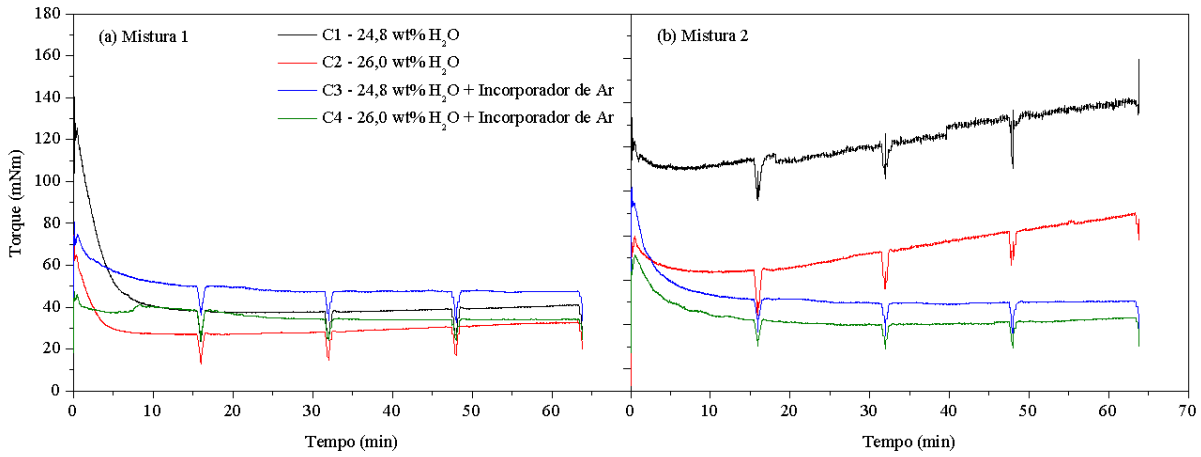


A partir desse resultado foi possível notar a influência do teor de água bem como da adição do incorporador de ar, sendo mais perceptível no ensaio de consistência e retenção de água, em que os gráficos apresentaram grande variações. O tipo de mistura não exerceu influência na densidade e na incorporação de ar da mistura. Pode-se notar também o efeito do aditivo na densidade de massa das misturas, aumentando consideravelmente na presença de bolhas de ar, tornando a argamassa mais leve e trabalhável.

Reometria rotacional

A Figura 3 apresenta os valores de torque obtidos durante a caracterização reológica com o perfil em Patamar.

Figura 3 – Resultados de torque ao longo do tempo

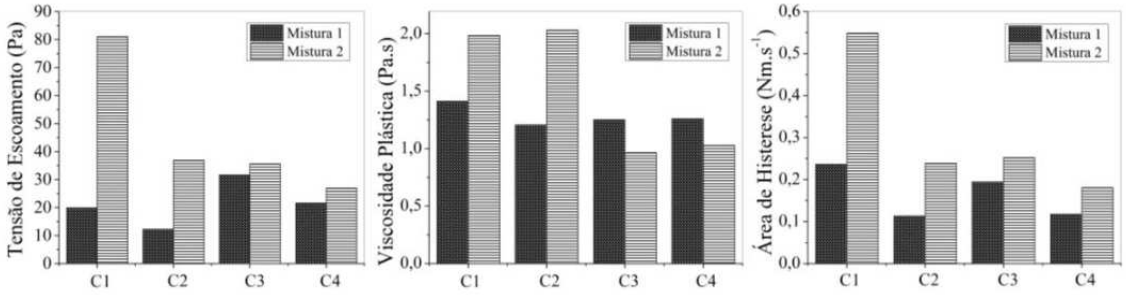


Observa-se que as argamassas sem incorporador de ar apresentaram torques maiores para o segundo procedimento de mistura e, de acordo com o aumento do torque com o tempo, um menor tempo de enrijecimento que, por sua vez, sugere uma maior velocidade de hidratação do cimento devido à quebra mais eficiente da estrutura dos grânulos durante o preparo. As argamassas com aditivo, porém, apresentaram no segundo método de preparo torque menores e bastante próximos quando comparados às suas curvas correspondentes da Mistura1 indicando que a presença do incorporador de ar torna a argamassa mais facilmente homogeneizável mesmo quando submetida a procedimentos de mistura diferentes. Isso acontece porque a presença de aditivo incorporador de ar gera microbolhas esféricas e deformáveis de ar que aumentam o volume da pasta, afastam os agregados e assim melhoram a fluidez[5]. Em geral a presença do aditivo torna argamassa sensível à etapa de mistura, deve-se considerar, no entanto, que em ambos os procedimentos de mistura utilizados o tempo e a velocidade do misturador foram mantidos iguais.

Pode-se observar também que as argamassas com grande variação no índice de retenção de água entre os tipos C1 e C2 apresentaram maiores valores de torque e as demais, menores. Isso se deve a grande importância que a água tem no comportamento reológico das

argamassas, já que exerce influência direta na trabalhabilidade e viscosidade, tendo papel fundamental nas reações químicas de hidratação do aglomerante e na aderência entre argamassa e substrato. Os parâmetros reológicos das argamassas, como tensão de escoamento, viscosidade plástica e área de histerese são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Parâmetros reológicos das argamassas



As argamassas submetidas ao primeiro método de mistura apresentaram em geral menores tensões de escoamento, viscosidades e áreas de histerese, sugerindo uma maior eficiência do procedimento. É possível observar que a presença do aditivo incorporador de ar reduziu a interferência do procedimento de mistura sobre os parâmetros reológicos.

Quanto as argamassas sem aditivos a Mistura 2 apresentou números reológicos maiores em relação a Mistura 1, em que essa variação chegou a ser 4 vezes maior (tensão de escoamento do C1). Isso se deu porque as argamassas submetidas no primeiro método de mistura não estavam bem homogeneizadas, tendo uma má distribuição hidráulica entre os grânulos fazendo com que a estruturação não seja tão coesa. Isso gerou diminuição da resistência ao cisalhamento e, logo, uma menor energia de ruptura das partículas. Em relação à viscosidade, porém, é possível notar que a segunda mistura apresentou valores maiores do que a primeira, não coincidindo com o que foi apontado por Cardoso[1], em que a heterogeneidade e viscosidade da suspensão são diretamente proporcionais.

4. CONCLUSÕES

A presença do incorporador de ar nas argamassas conferiu maior facilidade de homogeneização da matriz do material e uma pequena variação dos parâmetros reológicos de tensão de escoamento, viscosidade plástica e área de histerese.

A análise comparativa entre os parâmetros reológicos obtidos após cada procedimento de mistura indicou que o preparo através do método da adição das matérias-primas de forma fracionada (mistura 2) tornou a ação do incorporador de ar menos efetiva, aumentando a energia necessária para promover o fluxo da mistura, mantendo próximas as viscosidades e tensões de escoamento.

5. REFERÊNCIAS

1. CARDOSO, F. A.; CAMPORA, F. L.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M.; **Influência do Tipo de Mistura no Comportamento Reológico de Argamassas Avaliado por Squeeze Flow. In: VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Recife, 2007.

2. FERNANDES, Heloísa Cristina. **Estimativa da energia de lançamento das argamassas projetadas por spray a ar comprimido**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

3. ANTUNES, R. P. N; JOHN, V.; PILEGGI, R. G.; **Influência da sequência de mistura nas propriedades reológicas de argamassas avaliada por Squeeze-flow**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005.

4. PAIVA, H. M. C. **Caracterização reológica de argamassas. Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro**, Portugal, 2005.

5. REINER, M. **Deformation and flow: an elementary introduction to theoretical rheology**. HK Lewis, 1949.

6. KHAYAT, K. H., SARIC-CORIC, M., LIOTTA, F., Influence of thixotropy on stability characteristics of cement grout and concrete, **ACI Materials Journal**, Title nº 99 M23, 2002.

7. ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2002, 175p.