

ARGAMASSAS INORGÂNICAS COM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR METACAULIM: A INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Anderson Francisco de Lima Andrade (1); Francisco Daniel Leal Vasconcelos (2); Karoline Alves de Melo (3); Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (4)

(1) Graduando em Engenharia Civil – e-mail: kikoandrade@ig.com.br

(2) Mestrando em Engenharia Civil – e-mail: daniel_cg@pop.com.br

(3) Doutorando em Engenharia Civil – e-mail: melokarol@gmail.com

(4) Professor do Departamento de Engenharia Civil – e-mail: ampc@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - Brasil CEP: 50670-901

RESUMO

Proposta: O metacaulim é um material fino proveniente da calcinação de argilas cauliniticas e que possui propriedades pozolânicas quando em presença do meio alcalino (CaOH_2), além de atuar como fíler. Como sua reação de hidratação é lenta e a finura é elevada, este material pode conferir às argamassas propriedades interessantes para a restauração de revestimento de edificações cinquentenárias, comuns nos centros das capitais brasileiras; dentre essas propriedades destaca-se a retenção de água e a trabalhabilidade para sua aplicação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da substituição do cimento por metacaulim, em diferentes teores, nas propriedades no estado fresco de argamassas inorgânicas, a saber: coesão e consistência, densidade de massa e a variação de massa nas primeiras idades. **Método de pesquisa/Abordagens:** Estudou-se inicialmente uma argamassa de referência com traço em volume de 1:1:6 (cimento:cal:areia), sendo em seguida determinados 4 traços em massa, partindo-se do traço de referência, os quais são diferenciados em relação à quantidade de metacaulim, que foi empregado em substituição total ao cimento. Os ensaios realizados foram o da mesa de consistência da ABNT (*flow-table*), densidade de massa aparente e variação de massa. Para o ensaio da determinação da consistência, foi variada a relação água/materiais secos em quatro pontos; deste modo foi traçada a curva de consistência de cada argamassa. Posteriormente, foi definido o teor de água para se atingir um espalhamento de 250 ± 10 mm, sendo essa argamassa dosada medindo-se sua densidade de massa aparente. **Resultados:** A partir dos dados preliminares, foi observado que o emprego de metacaulim levou à necessidade de uma maior quantidade de água em relação à argamassa de cimento, e a relação água/materiais secos cresceu proporcionalmente ao teor de metacaulim. **Contribuições/Originalidade:** O estudo desenvolvido permitiu o melhor entendimento das propriedades de argamassas no estado fresco, com substituição do cimento pelo metacaulim, e que esta argamassa pode ser aplicada para o reparo de edificações históricas.

Palavras-chave: argamassas; metacaulim; estado fresco.

ABSTRACT

Propose: Metakaolin is a material with high finesses originated from the calcination of kaolinitic clay, which has pozzolanic properties in alkaline medium (CaOH_2), also acting as a filler. As its hydration is slow and the finesses is high, this material can give to the mortars interesting properties for restoration of coating of historical buildings, common in the centers of Brazilian capitals; among those properties could be cited the water retention and the workability for its application. Present work intends to

evaluate the influence of the substitution of cement by metakaolin in different contents, in the fresh properties of inorganic mortars, which are: cohesion and consistence, specific gravity and the mass variation in the first ages. **Methods:** Initially, it was studied a reference mortar with materials proportion of 1:1:6 (cement:lime:sand) by volume, and then determined 4 new mix proportions starting from the reference, which are different in the metakaolin content, that was used in total substitution to the cement. The experiments carried out were the consistence defined by ABNT (flow-table) and apparent specific gravity. For the determination of the consistence, the water/dry materials ratio was varied in four points; this way the curve of consistence of each mortar was traced. Later, the water requirement was defined to reach a flow diameter of 250 ± 10 mm, and then the specific gravity was measured for the resultant mortar. **Findings:** Starting from the preliminary data, it was observed that the use of metakaolin took to the need of a larger amount of water compared to the cement mortar, and the water/dry materials ratio increased proportionally to the metakaolin tenor. **Originality/value:** This study allowed the best understanding of the properties of mortars in the fresh state, with substitution of the cement for the metakaolin, and that this mortar can be applied for the repair of historical constructions.

Keywords: mortars; metakaolin; fresh properties.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Argamassas de restauração

As primeiras argamassas encontradas datam de mais de 10.000 anos, tendo sido sendo empregado inicialmente apenas o gesso e a cal em sua constituição. Muitos povos da antiguidade produziam a cal virgem gorda e a utilizavam como aglomerante na produção de argamassa para assentamento de alvenarias e revestimento de paredes. Nas construções romanas observa-se algum avanço com o emprego dos materiais pozolânicos, que contribuem para o aumento da durabilidade das argamassas. A introdução destes materiais permitiu também a construção de elementos mais sofisticados como as abóbadas da arquitetura romana. (ALVAREZ et al., 2005)

Com o avanço das técnicas de construção, sentiu-se a necessidade do surgimento de materiais capazes de resistir e endurecer em presença de água, o que foi conseguido a partir dos aglomerantes hidráulicos, como a cal hidráulica e o cimento (ALVAREZ et al., 2005).

Nos dias atuais, em que altos índices de degradação ambiental têm sido observados, muitos problemas patológicos estão surgindo nas edificações, em decorrência do desgaste promovido pelas condições a que estão submetidas. No caso do Brasil, algumas destas edificações estão localizadas em importantes cidades e constituem o patrimônio histórico nacional. Pagnussat et al. (2003) indicam que a manutenção das edificações antigas é constantemente negligenciada ou ignorada, e que a preocupação dos antigos construtores era com as questões de resistência e desempenho estrutural, deixando-se de lado aspectos relacionados com a durabilidade.

Desta forma, vê-se a importância de se investigar as possibilidades de restauro das construções históricas, baseadas principalmente na compatibilidade entre os materiais disponíveis no momento e os materiais empregados originalmente na época da sua execução, bem como seguindo critérios de durabilidade em relação às condições ambientais. O sistema adotado para o reparo não pode contribuir para a degradação das paredes históricas sobre as quais será aplicado, de modo que a compatibilidade entre o substrato a ser revestido e a argamassa deve respeitar propriedades mecânicas, físicas e químicas (RODRIGUES et al., 2005).

Dentre os requisitos exigidos para que as argamassas sejam eficientes na restauração das edificações, pode-se citar: ter resistências mecânicas inferiores à do substrato; permitir a passagem ao vapor de água; contribuir na estanqueidade à chuva dirigida (chuva + vento) e garantir a fácil secagem; ter adequada deformabilidade; não contribuir para a liberação de sais solúveis higroscópicos; ter aderência suficiente para garantir durabilidade, mas que sua extração não cause danos à alvenaria; ter

reduzida susceptibilidade à fissuração e módulo de elasticidade pouco elevado (ALVAREZ et al., 2005; RODRIGUES et al., 2005; MAGALHÃES; VEIGA, 2005). A Tabela 1 apresenta um resumo em termos quantitativos de alguns dos requisitos exigidos para as argamassas de restauração no estado endurecido. Para o estado fresco, ainda é incipiente a especificação, acredita-se que a retenção de água nas primeiras idades é importante, pois de modo geral, as edificações históricas possuem base muito porosa.

Tabela 1 – Requisitos para as argamassas de restauração (MAGALHÃES; VEIGA, 2005)

Aplicação da argamassa	Resistência à compressão – 90 dias (MPa)	Resistência à tração – 90 dias (MPa)	Módulo de elasticidade – 90 dias (MPa)	Aderência – 90 dias (MPa)	Coefficiente de capilaridade (kg/m².h^{1/2})
Reboco exterior	0,4 – 2,5	0,2 – 0,7	2000 – 5000	0,1 – 0,3	<12; >8
Reboco interior	0,4 – 2,5	0,2 – 0,7	2000 – 5000	0,1 – 0,3	-
Juntas	0,6 – 3	0,4 – 0,8	3000 – 6000	0,1 – 0,5	<12; >8

Há uma tendência do meio técnico em adicionar cimento às argamassas, em função da maior resistência e velocidade de endurecimento. No entanto, o Comitê Científico Internacional para Análise e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico (ICOMOS, 2001) indica que o uso de argamassas contendo cimento deve ser evitado na restauração de edifícios históricos, pois podem surgir problemas relacionados à reação entre o gesso e os minerais do cimento capazes de levar à destruição do revestimento, à lixiviação de sais solúveis da argamassa causando eflorescências e à mudanças no percurso da umidade pela parede. Alvarez et al. (2005) citam ainda que as argamassas de cimento são mais resistentes que a parede a ser revestida, gerando tensões nesta, além de dificultarem a evaporação da água retida no suporte. Por este motivo, deve-se buscar a utilização de materiais que atendam bem às necessidades das argamassas de reparo, podendo-se lançar mão do uso de cal hidratada em conjunto com uma adição de material pozzolânico (ALVAREZ et al., 2005; MAGALHÃES; VEIGA, 2005).

1.2 Metacaulim

Dentre os materiais pozzolânicos que podem ser utilizados para contribuir na obtenção dos requisitos necessários às argamassas de restauração, encontra-se o metacaulim. Este material possui elevada finura e é proveniente da calcinação da argila caulinitica a temperaturas de 650°C a 800°C (PERA, 2001). As temperaturas de calcinação às quais a caulinita é submetida causam desorganização estrutural e conferem propriedades pozzolânicas ao material resultante, conforme citam Rojas e Cabrera (2002). Segundo Souza e Dal Molin (2002), além da calcinação, é necessário que o material passe por um processo de moagem para adquirir as propriedades pozzolânicas. Quando o tamanho resultante das partículas é inferior a 5 µm, o metacaulim é considerado por alguns autores como sendo de alta reatividade.

A atividade pozzolânica do metacaulim se dá através do rápido consumo de hidróxido de cálcio (CaOH) proveniente da hidratação do cimento, produzindo CSH, que é o hidrato responsável por garantir as propriedades mecânicas das misturas. Outros compostos também são formados, sendo que a natureza das reações químicas depende da cura à qual o elemento estará submetido (ROJAS; CABRERA, 2002). Além das propriedades de pozzolana, o metacaulim atua nas misturas através da ação de filer. Levy e Helene (2004) destacam que o efeito filer que ocorre com o uso de materiais pozzolânicos corresponde ao efeito físico de preenchimento dos vazios e aumento da compactidade das misturas, e está relacionado com a granulometria e o teor de finos.

Sabir et al. (2001) demonstram que o uso do metacaulim reduz a trabalhabilidade de misturas com matriz cimentante, levando a uma maior demanda de água para manter a consistência, e resultando em

misturas com boas características de coesão. Dentre as vantagens do uso de pozolanas incorporadas à cal hidratada nas argamassas, Coutinho (apud LOURENÇO et al., 2005) cita melhoras na trabalhabilidade com redução da segregação, maiores resistências à tração e compressão, principalmente a longo prazo, e economia.

De uma forma geral, o emprego de pozolanas em misturas de compostos à base de aglomerantes hidráulicos traz benefícios tanto em relação às propriedades do estado fresco, como no estado endurecido. Dentre estas vantagens pode-se destacar (MEHTA e MALHOTRA apud MELO, 2005): maior coesão, garantindo estabilidade às misturas; maior fluidez devido à redução do atrito entre as partículas dos agregados; redução da exsudação e segregação; menor permeabilidade, devido ao efeito fíler; maior durabilidade, que se dá em consequência da redução da permeabilidade.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é verificar o comportamento de argamassas inorgânicas empregando metacaulim em substituição total ao cimento, em relação às suas propriedades do estado fresco. Para isto, foram investigadas as propriedades de consistência, coesão, variação de massa e densidade de massa das misturas, comparando-se a argamassa de cimento em relação à de metacaulim, bem como argamassas com diferentes teores de metacaulim.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais empregados

Os materiais utilizados no experimento na produção das argamassas estão descritos a seguir.

O cimento utilizado foi o CP II Z, que consiste em cimento composto com adição de pozolanas com um teor de 6% a 14% que, neste caso, são cinzas volantes, e fíler calcário na proporção de 0% a 10% de acordo com a norma NBR 11578 (ABNT, 1991). A massa específica deste cimento, conforme laudo do fabricante, é de 3,1 g/cm³.

Foi utilizado um metacaulim de coloração branca, cuja massa específica é de 2,49 g/cm³, e a massa unitária de 0,33 g/cm³, usado como substituição à massa de cimento. Este material é procedente do município de Ipojuca - PE.

A cal hidratada utilizada no experimento foi do tipo CH II, oriunda de Recife - PE. Trata-se de um material comercializado na região, para compor argamassas mistas. Nos ensaios realizados foram encontradas a massa unitária de 0,65 g/cm³.

O agregado empregado foi areia do tipo quartzosa, procedente da pedreira GURANI, às margens da BR 101 Sul, no Estado de Pernambuco.

Na Tabela 2 estão resumidas as massas específicas, massas unitárias e finuras dos materiais empregados. Nos Gráficos 1 e 2 tem-se a distribuição granulométrica dos aglomerantes e do agregado, respectivamente.

Tabela 2 – Massas específicas e unitárias dos materiais

Material	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)	Finura (m ² /g)
Cimento	3,10	1,06	1,14
Areia	2,62	1,43	-
Cal	Não fornecida	0,65	1,69
Metacaulim	2,49	0,33	1,73

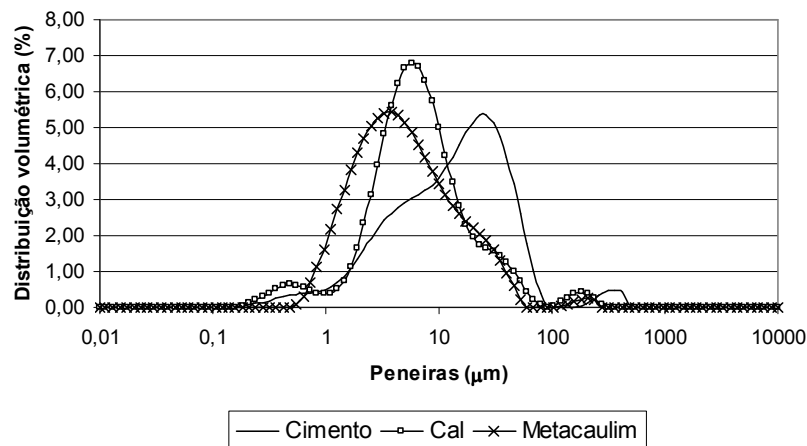


Gráfico 1 – Distribuição granulométrica dos materiais aglomerantes

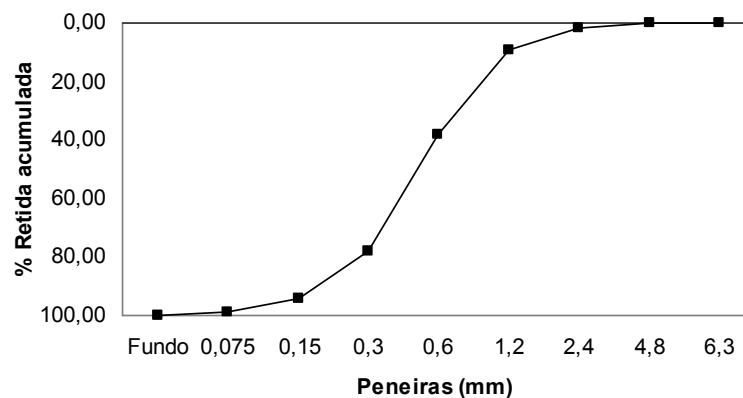


Gráfico 2 – Distribuição granulométrica do agregado

3.2 Mistura das argamassas

As argamassas foram misturadas em duas argamassadeiras com diferentes capacidades de cuba. A primeira, com capacidade de 5 L, foi utilizada para misturar um volume de material suficiente para a realização do ensaio de consistência das argamassas, a partir do qual determinou-se a relação água/materiais secos de cada mistura. A segunda, com capacidade de 15 L, foi empregada para misturar um volume maior de material para que fossem moldados os corpos-de-prova utilizados nos demais ensaios. O tempo total de mistura foi de 5 minutos, adotando-se a seguinte sequência: aglomerante (cimento e cal ou metacaulim e cal hidratada) e 80% da água, em velocidade média – 1 min; adição do agregado e 20% da água em velocidade rápida – 2min; parada para limpeza da pá – 30 seg; mistura final em velocidade rápida – 1min e 30 s.

Partindo-se do traço 1:1:6 em volume e empregando as massas unitárias dos materiais, definiram-se os traços em massa para uma argamassa de cimento, cal e areia, e outra de metacaulim, cal e areia. Ao último traço incorporou-se metacaulim em três novas proporções, chegando-se às misturas apresentadas na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Proporções das misturas (cimento ou metacaulim:cal:areia)

Argamassa	Traço em massa
Cimento	1:0,61:8,09
Metacaulim A	1:1,97:26,0
Metacaulim B	1,5:1,97:26,0
Metacaulim C	2:1,97:26,0
Metacaulim D	2,5:1,97:26,0

3.3 Ensaios

3.3.1 Consistência e coesão

O ensaio de consistência e coesão foi realizado conforme as determinações da NBR 13276 (ABNT, 2005), em uma mesa de impacto, com diâmetro de 500 mm e altura de queda de 14 mm. A argamassa foi moldada em três camadas sensivelmente com a mesma altura, em um molde tronco-cônico, com diâmetros internos de 120 mm e 80 mm e altura de 65 mm, previamente lubrificado. Foram aplicados 15 golpes para a primeira camada, 10 golpes para a segunda camada e 5 golpes para a terceira camada, uniforme e homogeneamente distribuídos. Após a retirada do molde, foram aplicados 30 golpes na mesa de impacto durante 30 segundos. Determinou-se a consistência através da média, de duas medidas de diâmetro.

3.3.2 Massa específica

A massa específica no estado fresco das argamassas foi determinada através de um recipiente com volume de 396,437 cm³ e massa de 268 g. A argamassa foi adensada em três camadas com a mesma altura sendo aplicados 30 golpes por camada. As leituras foram realizadas através de uma balança com precisão de 0,1 g.

3.3.3 Variação de massa

Para a determinação da variação de massa das argamassas, considerou-se como tempo de início das pesagens a data de desforma dos corpos-de-prova. Após a desmoldagem, os corpos-de-prova foram pesados quase que diariamente durante um período de 35 a 40 dias, as medidas foram realizadas por meio de uma balança com precisão de 0,1 g.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Consistência e coesão

A partir dos ensaios de consistência, foram definidas as curvas do diâmetro de abertura *versus* relação água/materiais secos, para cada tipo de argamassa (Gráfico 3). Com isto, foi possível determinar a relação água/materiais secos correspondente ao diâmetro de 250 mm, que foi a consistência adotada no presente trabalho. Os valores resultantes estão apresentados na Tabela 4 a seguir.

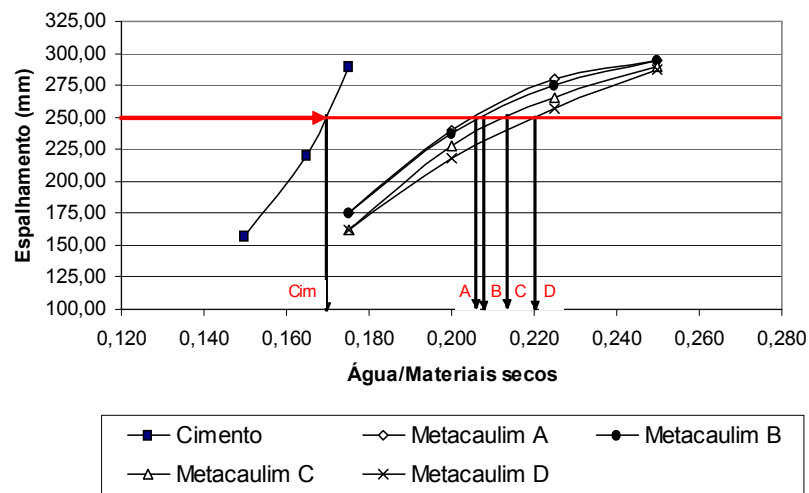


Gráfico 3 – Espalhamento das argamassas

Tabela 4 – Relações água/materiais secos resultante para o espalhamento de 250 mm

Argamassa	Água/materiais secos
Cimento	0,169
Metacaulim A	0,206
Metacaulim B	0,208
Metacaulim C	0,215
Metacaulim D	0,220

A partir da análise do Gráfico 3, observa-se que o teor de água necessário para garantir a mesma consistência foi maior nas argamassas com metacaulim, em relação à de cimento. Além disso, com o aumento na quantidade de metacaulim empregada, houve maior consumo de água para manter a consistência especificada. Este efeito está relacionado à elevada finura deste material, e distribuição granulométrica muito uniforme, que provocam maior adsorção de água, aumentando seu consumo para essa consistência. Os resultados estão de acordo com o levantamento realizado por Sabir et al. (2001) sobre o efeito do metacaulim nas propriedades de misturas com matriz cimentante.

Nas Figuras 1 a 5 pode-se visualizar o aspecto das argamassas durante o ensaio de consistência, nas quais nota-se a estabilidade das misturas e a semelhança na consistência, dado o valor unificado do espalhamento.



Figura 1 – Argamassa de cimento



Figura 2 – Argamassa de metacaulim - A



Figura 3 – Argamassa de metacaulim - B



Figura 4 – Argamassa de metacaulim - C



Figura 5 – Argamassa de metacaulim - D

4.2 Densidade de massa

Os resultados da densidade de massa das argamassas estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que os valores são próximos, com diferença na terceira casa decimal, a exceção da argamassa D. Na medida em que se substitui o cimento, reduz-se o consumo de cal hidrata e areia, e aumenta-se o consumo de metacaulim, houve uma redução do valor da densidade de massa das argamassas, isto ocorre devido ao metacaulim possuir massa específica menor que as dos demais materiais, levando assim à diminuição da massa total da mistura. Outro fator está relacionado com a maior quantidade de água destas misturas à medida que se aumentou o teor de metacaulim.

Tabela 5 – Densidade de massa e teor de vazios das argamassas

Argamassa	Densidade de massa (g/cm ³)
Cimento	2,025
Metacaulim A	2,023
Metacaulim B	2,024
Metacaulim C	2,023
Metacaulim D	2,014

4.3 Variação de massa

O tempo decorrente desde a moldagem até a desmoldagem, para que se desse início ao acompanhamento da variação de massa, não foi constante para todas as argamassas. Para as

argamassas de cimento a desforma ocorreu com 24 horas após a moldagem, no entanto com para as argamassas com metacaulim o tempo foi maior à medida que aumentava o seu teor. Este tempo diferenciado foi em função do enrijecimento necessário para que os corpos-de-prova pudessem ser retirados das formas. No caso das argamassas A e B o tempo de espera foi de 48 horas, e para as argamassas C e D de 120 horas. Estes resultados demonstram que a reação de hidratação deste metacaulim ocorre de forma lenta, o que pode ser benéfico para o desempenho dessas argamassas com o substrato original, tendo em vista que o desenvolvimento da resistência se dará gradualmente, evitando o surgimento de tensões que venham a danificar as paredes. Com a pesagem dos corpos-de-prova após a desforma foi possível verificar a perda de massa sofrida pelas argamassas, cujos resultados podem ser visualizados no Gráfico 4.

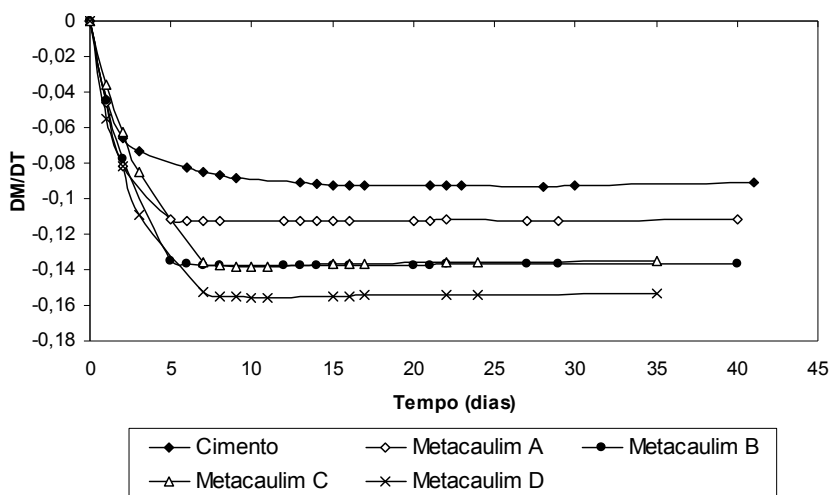


Gráfico 4 – Variação de massa das argamassas

Pode-se ver que até os 7 dias não houve uma tendência uniforme dos resultados, a qual foi observada após esta idade, verificando-se que as argamassas com metacaulim apresentaram maior variação de massa que a argamassa de cimento, e este aumento foi diretamente proporcional à quantidade de metacaulim utilizada. Isto reflete o maior teor de água utilizado nas misturas com mais metacaulim.

5 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos depreende-se que:

- O uso do metacaulim constitui uma solução importante para a composição de argamassas destinadas ao reparo de edificações históricas. Sua principal vantagem com relação às propriedades no estado fresco refere-se ao desenvolvimento lento das reações de formação dos compostos, facilitando sua adequação ao substrato.

- A massa unitária do metacaulim é cerca de quatro vezes menor do que a da areia, três vezes menor do que a do cimento, e duas vezes menor do que a cal hidratada, o que ocasionou um elevado consumo de cal hidratada e de areia nas argamassas, levando a um alto consumo de água para a o espalhamento de 250 ± 10 mm. Este fato contribuiu para a redução da densidade de massa e aumento na variação de massa nas primeiras idades.

Contudo, há necessidade de se investigar a viabilidade de aplicação das argamassas com metacaulim no revestimento de paredes antigas no que diz respeito ao seu manuseio e comportamento frente às propriedades do estado endurecido.

6 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO (ICOMOS). **Recomendações para análise, conservação e restauração estrutural do patrimônio arquitetônico**. 2001. Disponível em: <http://www.icomos.org.br/pdf/Rec%20_Brasil.pdf>. Acesso em: Jan. 2005.
- LEVY, S.; HELENE, P. Mitos e verdades sobre o efeito pozolânico dos resíduos cerâmicos e argamassas de cimento, produzidas em São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2004.
- LOURENÇO, J. F.; FERRAZ, E. J. M. O.; COROADO, J. P. P. F. Metodologia para determinação das vantagens de argamassas sob efeito pozolânico de metacaulinos. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2005.
- MAGALHÃES, A. C.; VEIGA, M. R. Estudo comparativo de possíveis soluções de argamassa para revestimentos de paredes de edifícios antigos. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2005.
- MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário**. 2005. Dissertação – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.
- PAGNUSSAT, D. T.; PAULETTI, C.; POSSER, N. D.; MASUERO, A. B. Avaliação das manifestações patológicas em fachadas de prédio histórico na cidade de Porto Alegre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2003.
- PERA, J. Metakaolin and calcined clays – Guest Editorial. **Cement & Concrete Compositives**, v. 23, n. 6, Dec. 2001.
- ROJAS, M. F.; CABRERA, J. The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin-lime-water systems. **Cement and Concrete Researches**, v. 32, n. 1, p. 133-138, Jan. 2002.
- RODRIGUES, P. F.; HENRIQUES, F. M. A.; RATO, V. M. Análise comparativa de argamassas pré-doseadas para aplicação em rebocos de edifícios antigos. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2005.
- SABIR, B. B.; WILD, S.; BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. **Cement & Concrete Compositives**, n. 23, p. 441-454, 2001.
- SOUZA, P. S. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Estudo da viabilidade do uso de argilas calcinadas, como metacaulim de alta reatividade (MCAR). **Engenharia Civil**, n. 15, Setembro 2002.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a METALFORT, pela doação do metacaulim; a MEGAÓ, pela doação da cal; e a Cimentos POTY, pela doação do cimento.