



**ENTAC2006**

**A CONSTRUÇÃO DO FUTURO** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **A INFLUÊNCIA DO TEOR DE ADIÇÃO METACAULIM NAS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO: CAPILARIDADE E RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS INORGÂNICAS PARA RECUPERAÇÃO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS.**

**BARBOSA, Fred R. (2); MOTA, João M. F. (2); CARNEIRO Arnaldo M. P. (1)**

(1) Professor Departamento de Engenharia Civil e Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. e-mail: (1) [ampc@ufpe.br](mailto:ampc@ufpe.br)

(2) Mestrando do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. e-mail: (2) [fredrbarbosa@ig.com.br](mailto:fredrbarbosa@ig.com.br);

[vieiramota@vieiramota.com.br](mailto:vieiramota@vieiramota.com.br)

### **RESUMO**

Um ponto pacífico entre tecnólogos encontra-se no fato de que as edificações sofrem uma redução no seu desempenho ao longo do tempo, redução esta que pode sofrer significativo avanço quando não são considerados planos de manutenção adequados. Dentre elas, destacam-se as de caráter histórico, não apenas pela necessidade de manter-se a edificação propriamente dita, como também pelo conteúdo cultural a elas agregado. Promover sua recuperação contribui de forma significativa para revitalização de grandes áreas urbanas, conferindo-lhes não apenas novas condições de utilização, mas agregando valor ao seu entorno. Contudo, para que estes métodos sejam eficientes, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas adequadas à realidade que lhes é peculiar, passando por um estudo sério acerca dos materiais compatíveis com cada realidade (estética, física e quimicamente), bem como das técnicas construtivas que poderão ser implementadas. O presente trabalho tem o objetivo de contribuir para o estudo de argamassas de restauro para edificações cinquentenárias através da utilização do metacaulim em argamassas inorgânicas, atendo-se mais especificamente às alterações provocadas nas propriedades das argamassas pela adição deste material. Foram realizados ensaios para verificação da capilaridade, resistência à compressão e tração aos 28 dias; tomando-se como referência uma argamassa mista de cimento, areia e cal hidratada no traço 1:1:6.

Palavras-Chave: Metacaulim, Recuperação de Monumentos Históricos.

### **ABSTRACT**

A common point of view among technologists is found in the fact that edifications have a reduction of their performance as time goes by. This reduction may go on if effective maintenance plans are not considered. Among these we can highlight the ones with a historical nature, not only considering the need of keeping the edification, but also their cultural content. Promoting their recuperation contributes a lot in the urban area's revitalization, giving them not only new ways of usage, but also adding them some value. Therefore, if we really want to achieve effective methods, we have to develop proper techniques, according to their reality, based on a serious study about compatible materials (in an esthetical, physical and chemical way), as well the constructive techniques which may be adopted. The aim of this paper is to contribute for the study of the restoration building cement, applied for 50-year-old edifications through the usage of *metacaulim* in not organic building cement, with a special attention to the changes caused in the properties of the building cement by the addition of this material. Tests were done to verify the resistance to compression, traction by diametric compression and capillarity, tested after 28 days. The reference was a mixed building cement, sand and hydrated lime in the 1:1:6 traces.

Keywords: Metacaulim; Revitalization Historical Edifications.

## 1 INTRODUÇÃO

Problemas relativos à conservação e manutenção de edificações têm apresentado relevante crescimento. Isto se dá pelos mais diversos motivos. As edificações antigas têm sua manutenção constantemente negligenciada ou ignorada. Os antigos construtores e pesquisadores tinham uma tendência a se aterem mais em questões de resistência e desempenho em detrimento à durabilidade ao longo do tempo (PAGNUSSAT et al, 2003).

PAGNUSSAT et al (2003) citam ainda que as manifestações patológicas (principalmente externas) comprometem a estética e o conforto do edifício, ocasionando uma desvalorização do mesmo perante o mercado e também um aumento na insegurança do usuário. Para PERES et al (2005) ainda são recentes as pesquisas sobre os efeitos econômicos na conservação e reabilitação da herança cultural construída, mas é crescente a consciência de que estes bens são agentes de dinamismo intelectual e equilíbrio coletivo através do reconhecimento da identidade de uma população e, também, fonte de recursos econômicos importantes.

O contexto atual retrata um crescimento dos esforços em torno das questões de durabilidade e de reparo ou recuperação das edificações; fato que se acentua quando o assunto diz respeito às obras de caráter histórico, onde a recuperação e manutenção têm sido inclusive incentivadas por órgãos particulares e governamentais.

Para CINCOTTO (1998), as manifestações patológicas encontradas em revestimentos com argamassas podem se apresentar como resultado de uma ou mais causas, das quais podemos citar: fatores externos ao revestimento, má aplicação dos revestimentos, mau proporcionamento das argamassas, tipo e qualidade dos materiais utilizados no preparo das argamassas.

TAVARES et al (2003) e MOTTA et al (2005) ratificam essa colocação e acrescentam que o problema de manutenção das fachadas externas de um edifício histórico passa pela conservação de técnicas construtivas tradicionais, e pelo uso de materiais estética, física e quimicamente compatíveis, geralmente os mais similares possíveis aos originais.

Um problema existente é que no transcorrer dos restauros, muitos dos revestimentos foram tratados sem nenhuma preocupação quanto ao registro dos seus valores estéticos, culturais e técnicos, e como resultado dessa conduta, verifica-se que muitos destes acabamentos e técnicas ancestrais já foram perdidos. Daí a preocupação atual com o desenvolvimento de métodos e técnicas que permitam a conservação dos revestimentos ainda sobreviventes (VEIGA, 2003).

Este problema também é abordado por COLLEPARDI (1990), uma vez que ele relata que muitos trabalhos de restauração, com a utilização de técnicas e materiais modernos tais como reforço de paredes por injeções de cimento ou a aplicação de novas argamassas de cimento para restaurar as argamassas de revestimento antigas, causaram mais danos do que benefícios por causa de interações negativas do cimento com os materiais originais (tijolos, pedras ou aglomerantes originais). Segundo CALLEBAUT et al. (2001), essas degradações são devidas ao fato de que o cimento Portland hidratado é um material muito rígido e impermeável. Além disso, o cimento contém sais solúveis que podem produzir eflorescências e produtos de cristalização expansíveis.

Como alternativa a esta questão; muitos pesquisadores têm procurado avaliar o benefício das adições pozolânicas nas argamassas de restauro, a fim de conferir-lhes propriedades similares às argamassas originais. Neste sentido, SILVA et al (2005) destacam que a microestrutura na zona de transição das pastas apresenta cristais de hidróxido de cálcio e de etringita mais bem formados e de maior tamanho do que aqueles presentes na matriz e que pasta de cimento contendo adições pozolânicas, em comparação à pasta de cimento Portland sem adições, tende a exibir uma microestrutura mais densa, menos heterogênea e mais compacta, e com menor proporção de vazios

desenvolvidos. As reações pozolânicas com o hidróxido de cálcio formado na hidratação do cimento originam um composto resistente de silicato de cálcio hidratado que tende a preencher os grandes vazios capilares.

O presente trabalho é elaborado no sentido de contribuir com as pesquisas recentes acerca de materiais a serem utilizados no restauro de argamassas antigas. Nesse diapasão, optou-se pela avaliação comparativa entre argamassas produzidas com metacaulim, uma argila caulínica de elevada finura e reatividade, frente às tradicionais argamassas de cimento portland. A opção pela utilização do metacaulim advém do fato de que devido a sua finura e reatividade pode proporcionar um ganho de qualidade à microestrutura das argamassas estudadas. Para esta avaliação foram realizados ensaios de resistência mecânica (tração e compressão) e ainda de absorção por capilaridade.

## 2 MATERIAIS UTILIZADOS E METODOLOGIA DOS ENSAIOS

### 2.1 Caracterização dos Materiais

#### 2.1.1 Aglomerantes

##### 2.1.1.1 Cimento Portland

Foi utilizado nesta pesquisa o cimento CP II Z 32 RS, cujas características fornecidas pelo fabricante constam da tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do cimento utilizado.

Determinação			Resultados
Caracterização Física	Área específica Blaine (cm²/g)		3540
	Massa Específica (g/cm³)		3,04
	Densidade Aparente (g/cm³)		1,20
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	2,20
		Resíduo na peneira #325 (%)	15,60
	Tempo de Pega	Início (min)	150
		Fim (min)	220
	Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	26,40
		7 dias (MPa)	32,10
28 dias (MPa)		*NI	
Caracterização Química (%)	Composição potencial do Clínquer	C <sub>3</sub> S	67,00
		C <sub>2</sub> S	7,80
		C <sub>3</sub> A	7,80
		C <sub>4</sub> AF	10,50
	Perda ao fogo		4,39
	Resíduo insolúvel		6,89
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		5,20
	SiO <sub>2</sub>		20,60
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,50
	CaO		65,00
	MgO		2,66
SO <sub>3</sub>		3,26	
CaO livre		1,44	

\*NI = Não Informado

### 2.1.1.2 Cal Hidratada

Nesta pesquisa foi utilizada uma cal do tipo CHII, da marca comercial Megaó, amplamente utilizada na Região Metropolitana do Recife.

### 2.1.2 Agregados

O agregado miúdo utilizado possui natureza mineralógica quartzosa. A caracterização da areia natural encontra-se expressa na tabela 2 e a figura 1 apresenta sua curva granulométrica.

Tabela 2 – Características da areia natural

Característica	Areia
Densidade de Massa Aparente (kg/dm <sup>3</sup> )	1,43
Módulo de Finura	2,25
Coefficiente de Uniformidade (C = d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub> )	3,00

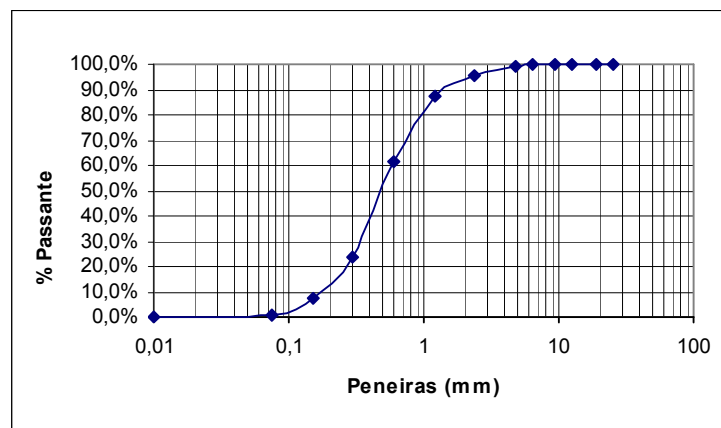


Figura 1 – Curva granulométrica da areia natural

### 2.1.3 Adições

Foi utilizada uma argila caulinitica de alta reatividade, cuja caracterização fornecida pelo fabricante está apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização Física e Química do Metacaulim

Determinação			Resultados
Caracterização Física	Área específica Blaine ( $\text{m}^2/\text{g}$ )		1,88
	Densidade Aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		0,33
	Cor		Branca
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	< 0,1
		Resíduo na peneira #325 (%)	< 2,0
Caracterização Química (%)	Porcentagem Média por Peso	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	97
		$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$	0,41
	Perda ao fogo		0,90
	Resíduo insoluble		1,50
	Estabilidade		Estável
	Reatividade		Inerte

## 2.2 Arranjo Experimental

Para o objetivo deste trabalho foram adotadas as seguintes etapas:

- ✓ Análise do agregado;
- ✓ Dosagem das argamassas e moldagem;
- ✓ Ensaios de resistência à compressão;
- ✓ Ensaios de capilaridade por absorção;
- ✓ Ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

Para a dosagem das argamassas empregadas nesta pesquisa utilizou-se o ensaio da mesa de consistência (flow-table), analisando as relações água/materiais secos a fim de manter-se um espalhamento de  $250 \pm 10$  mm. Assim, foram selecionados 5 tipos de argamassas, onde um deles utiliza o cimento portland como principal aglomerante e os demais utilizam o metacaulim. A mistura que utilizou o cimento portland, argamassa tipo I, foi utilizada como referência e consistiu de uma argamassa mista de cimento, cal e areia natural no traço 1:1:6 (em volume), por se tratar de um tipo de argamassa muito utilizada na Região Metropolitana do Recife. Nos outros 4 tipos de argamassas, o cimento portland foi substituído pelo Metacaulim a fim de verificar-se o seu desempenho, face às argamassas do tipo I. Assim, a diferença entre estas argamassas encontra-se apenas no teor de metacaulim empregado. A tabela 4 apresenta as principais características das argamassas produzidas.

Para cada tipo de argamassa estudada foram moldados 11 corpos de prova, sendo 4 deles destinados aos ensaios de resistência à compressão, outros 4 destinados aos ensaios de resistência à tração e mais 3 deles para a realização do ensaio de absorção por capilaridade. A moldagem seguiu os procedimentos da NBR 5738. Todos os CP's moldados foram imersos em tanque de cura após 24 horas da moldagem e permaneceram neste estado até 24 horas antes da realização dos ensaios.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na idade de 28 dias, segundo a NBR 7115, utilizando-se enxofre para capeamento dos corpos de prova. O ensaio de absorção de água por

capilaridade foi realizado com base na NBR 9779 e o ensaio de resistência à tração seguiu as orientações da NBR 7222.

Tabela 4 – Principais características das argamassas produzidas.

Tipo	Proporção dos Materiais nas Misturas (em massa)				Massa Unitária	Relação Água/Materiais Secos
	Cimento	Metacaulim	Cal Hidratada	Areia Natural		
I	1,00	-	0,61	8,09	2,025	0,169
II	-	1,00	1,97	26,00	2,012	0,206
III	-	1,50	1,97	26,00	2,024	0,208
IV	-	2,00	1,97	26,00	2,023	0,215
V	-	2,50	1,97	26,00	2,014	0,225

### 2.2.1 Ensaios Mecânicos

A seguir são apresentados na tabela 5 os resultados de resistência à compressão e tração para todos os tipos de argamassas produzidas na idade de 28 dias. Os resultados abaixo representam uma média de quatro corpos de prova ensaiados.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração.

Tipo	Proporção dos Materiais nas Misturas (em massa)				Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Índice de Fragilidade (Ft/Fc)
	Cimento	Metacaulim	Cal Hidratada	Areia Natural			
I	1,00	-	0,61	8,09	1,555	0,145	0,093
II	-	1,00	1,97	26,00	0,324	0,024	0,074
III	-	1,50	1,97	26,00	0,283	0,021	0,074
IV	-	2,00	1,97	26,00	0,275	0,021	0,076
V	-	2,50	1,97	26,00	0,316	0,020	0,063

### 2.2.2. Ensaio de Capilaridade por Absorção

O ensaio de absorção de água por capilaridade consiste em determinar a absorção capilar em um corpo de prova ao longo do tempo, em função da variação de massa até sua estabilização; assim quanto mais interligados forem os poros capilares, maior será a absorção apresentada. Para a realização deste ensaio alguns corpos de prova permaneceram em cura submersa até a idade de 28 dias, quando foram retirados do tanque de cura e colocados para secar ao ar livre até a idade de 57 dias de idade quando foram colocados na estufa a uma temperatura de  $40^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$  até obter-se constância de massa.

Após esse período os CP's foram retirados da estufa e colocados para resfriar ao ar livre, de forma a evitar taxas iniciais elevadas de absorção d'água quando do início do ensaio. Antes do contato inicial dos CP's com a água eles foram pesados, determinando-se assim sua massa inicial; em seguida foram colocados sobre suportes numa bandeja com água a temperatura de  $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$  de forma a manter o nível d'água constante a  $5 \pm 1 \text{ mm}$  acima da face inferior do corpo de prova.

Durante o ensaio foram determinadas as massas totais e alturas da mancha de umidade em 4 porções na superfície do CP, em idades variando de 1 a 180 minutos, contadas a partir do instante da colocação do CP em contato com a água.

A absorção de água por capilaridade é determinada pela expressão:

$$C \equiv \frac{A-B}{S} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

C = Absorção de água por capilaridade (kg/cm<sup>3</sup>);

A = Massa do CP que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado (kg);

B = Massa inicial do CP seco em estufa ventilada, temperatura de 40° ± 5° C (kg)

S = Área da seção transversal da superfície em contato com a água – área da seção molhada inicial (cm<sup>2</sup>).

Os resultados do ensaio de absorção são expressos na tabela 6.

Tabela 6 – Absorção por capilaridade das misturas

Período (minutos)	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )				
	Argamassas Produzidas				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
0	0	0	0	0	0
1	0,318310	0,290299	0,180800	0,187166	0,188439
4	0,501656	0,389611	0,324676	0,325949	0,341228
9	0,631527	0,457093	0,480011	0,491470	0,495290
16	0,777949	0,660811	0,651899	0,662085	0,674817
25	0,923099	0,788135	0,812327	0,832699	0,832699
26	1,069521	0,921825	0,972755	0,970209	0,981668
49	1,207031	1,066975	1,142096	1,159921	1,138276
64	1,357273	1,210851	1,307617	1,320349	1,330535
81	1,494783	1,335628	1,466772	1,489690	1,4489690
100	1,664124	1,487144	1,615741	1,633566	1,645025
121	1,796541	1,591549	1,745611	1,808000	1,819459
144	1,928958	1,674310	1,843651	1,878028	1,900947
169	2,005352	1,708687	1,892034	2,071561	1,964609
180	2,034637	1,720147	1,925138	2,111031	1,995166

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1. Ensaios de Resistência Mecânica

As figuras 2 e 3 apresentam a evolução da resistência à compressão e à tração para cada tipo de argamassa utilizada, respectivamente.

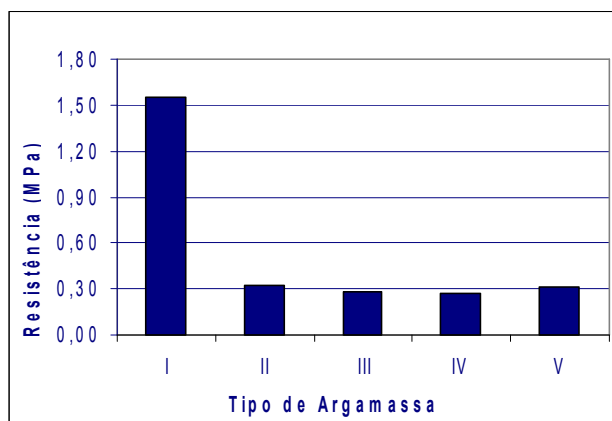


Figura 2 – Avaliação da Resistência à Compressão aos 28 dias das Argamassas Estudadas

A análise dos resultados de resistência à compressão realizados (ver tabela 5 e figura 2) não revelou uma variação substancial entre as misturas produzidas com o metacaulim, uma vez que tal variação permaneceu na casa dos 15%. Observa-se ainda que os valores registrados para as misturas II, III, IV e V atingiram apenas 20% dos valores obtidos para as argamassas do tipo I; tal fato está provavelmente associado à utilização do metacaulim, por ser este um material cujas reações de hidratação são muito lentas em comparação com o cimento portland, portanto numa análise com idades recentes, as misturas que não fizeram uso do portland não teriam como apresentar um resultado equivalente.

Resultado semelhante pode ser observado para o caso da resistência à tração (ver tabela 5 e figura 3), uma vez que os resultados obtidos para as misturas II, III, IV e V são similares, sem variação considerável, denotando que para esta idade o acréscimo do teor de metacaulim não produz alterações perceptíveis para o desempenho mecânico das misturas. Apenas registramos que estes valores atingiram cerca de 20% do observado para a mistura de referência (argamassas do tipo I).

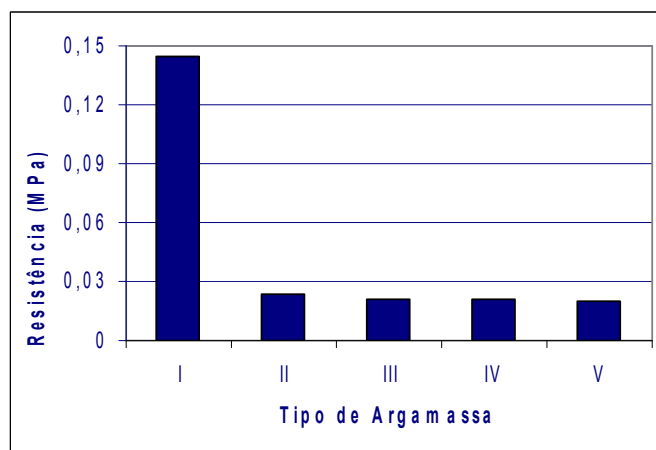


Figura 3 – Avaliação da Resistência à Tração aos 28 dias das Argamassas Estudadas



### 3.2. Ensaios de Absorção por Capilaridade

A figura 4 apresenta os resultados comparativos do ensaio de capilaridade. Observa-se neste ensaio que as discrepâncias observadas nos ensaios mecânicos não mais se verificam, estando os resultados das argamassas produzidas com metacaulim na mesma faixa que os da mistura de referência, com a utilização do cimento portland.

Este benefício observado é sem dúvida promovido pela ação do metacaulim, uma vez que se acredita que o efeito mais positivo em idades recentes seja a melhoria das condições de permeabilidade devido ao efeito de ganho no empacotamento (efeito filler) em função da reduzida finura do metacaulim em comparação com o cimento portland.

Apenas as argamassas da mistura II apresentaram um desempenho levemente inferior ao restante do grupo, contudo a diferença observada não foi substancial, permanecendo na casa dos 15 %.

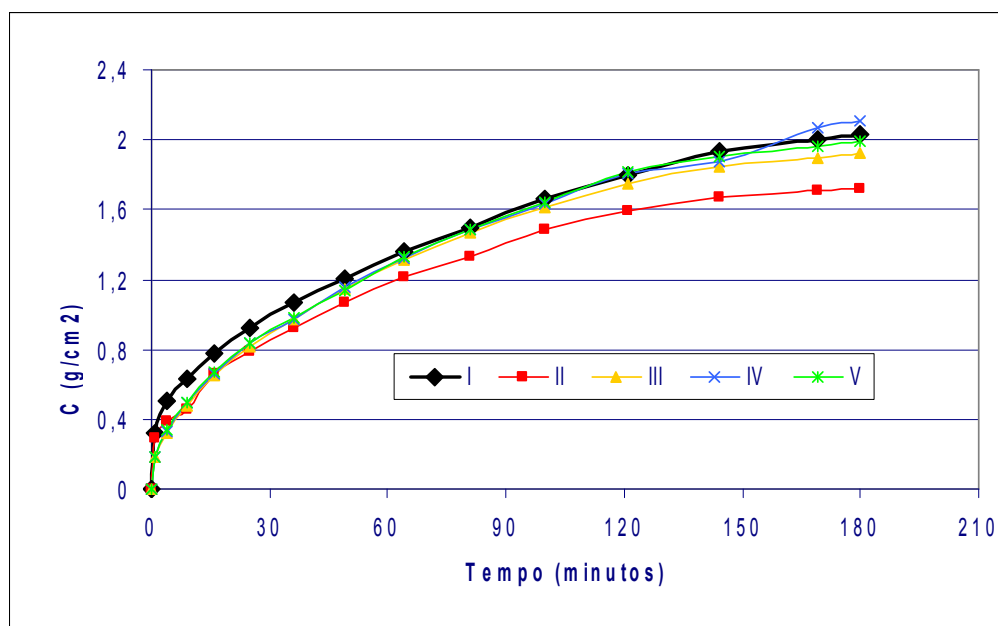


Figura 4 – Análise Comparativa de Absorção por Capilaridade para as Argamassas Estudadas

## 4 CONCLUSÕES

A utilização das misturas com metacaulim produziu argamassas cujo desempenho mecânico não corresponde ao das argamassas de referência em idades até 28 dias, também não se evidenciou diferenças significativas entre os resultados das argamassas com diferentes teores de metacaulim; contudo há indícios de que estes valores continuarão crescendo, devido ao fato de suas reações de hidratação se processarem de forma mais lenta que às do cimento portland.

Há que se considerar ainda que mesmo em idades recentes, o desempenho com relação à capilaridade das amostras foi bem similar, independente das misturas terem sido produzidas com cimento portland ou com metacaulim. Este resultado já era esperado, pois a adoção deste material também foi pautada na condição de obter-se uma mistura de maior compacidade e torná-la equivalente às misturas de portland com relação ao seu índice de vazios.

O trabalho sugere ainda um acompanhamento da evolução do quadro de resistência mecânica para idades mais avançadas a fim de melhor avaliar o desempenho das misturas com utilização do metacaulim como aglomerante, tendo em vista se verificar possivelmente melhorias significativas nas propriedades em idades mais avançadas.

## 5 REFERÊNCIAS

CALLEBAUT, et al., **Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium). Natural hydraulic lime or cement?** Cement and Concrete Research, 31 (2001), p.397-403.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das Argamassas de Revestimento: análise e recomendações.** Tecnologia de Edificações, São Paulo, PINI, 1998.

COLLEPARDI, M., **Degradation and restoration of masonry walls of historical buildings.** Materials and Structures, vol.23, 1990, p.81-102.

PAGNUSSAT, DANIEL T.; PAULETTI, CRISTIANE; POSSER, NATÁLIA D.; MASUERO, ANGELA B. **Avaliação das Manifestações Patológicas em Fachadas de Prédio Histórico na Cidade de Porto Alegre.** V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - SBTA, São Paulo, 2003.

PERES, R. M.; GREVEN, H. A.; ZAMBRANO, L. G.; BONIN, L. C. **Um Estudo de Caso sobre a Reconstituição de Traço de Argamassas Históricas .** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - SBTA, Florianópolis, 2005.

MOTTA, E. V.; GLEICE, P. J. P.; SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. **Caracterização de Argamassas de Edificações Históricas de Santa Catarina.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - SBTA, Florianópolis, 2005.

SILVA, V. S.; LIBÓRIO, J. B. L. **Avaliação do Efeito da Sílica Extraída da Casca de Arroz na Aderência de Argamassas e Chapiscos.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - SBTA, Florianópolis, 2005.

TAVARES, MARTHA LINS; AGUIAR, JOSÉ; VEIGA, MARIA DO ROSÁRIO. **Conservação e Restauro de Antigos Revestimentos Exteriores: Caracterização de Alguns Casos (do séc XVIII e XIX na zona de Lisboa).** V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - SBTA, São Paulo, 2003.

VEIGA, MARIA DO ROSÁRIO; AGUIAR, JOSÉ. **Definição de Estratégias de Intervenção em Revestimentos de Edifícios Antigos.** Comunicação ao 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Porto, FEUP, 2003.