

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE LÃ CERÂMICA GERADO NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA¹

*Edno Sant'ana Filho²
Estéfano Aparecido Vieira³
Ricardo André Peixoto Fiorotti⁴
Jorge Alberto Soares Tenório⁵
José Roberto de Oliveira⁶*

Resumo

Este trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de lã ou manta cerâmica gerado no lingotamento contínuo na fabricação de argamassa. Inicialmente foi feita a caracterização química e granulométrica dos materiais usados que foram: cimento, areia, cal hidratada e resíduo. Em seguida, após a determinação do traço, o resíduo foi usado na preparação da argamassa, juntamente com os outros materiais, em substituição ao cimento nas proporções de 0%, 2%, 4%, e 6%. Foram realizados ensaios de resistência a compressão e determinação do índice de consistência das diferentes argamassas preparadas. Os resultados dos ensaios mostram um aumento na resistência a compressão e na consistência da argamassa com a utilização do resíduo, o que indica a viabilidade técnica de sua utilização.

Palavras-chave: Resíduo; Manta cerâmica; Argamassa

UTILIZATION OF THE CERAMIC WOOLLEN WASTE GENERATED IN THE CONTINUOUS CASTING IN THE MORTAR MANUFACTURE

Abstract

This work has for objective to study the technical viability of the utilization of the ceramic woollen or ceramic blanket generated in the continuous casting in the mortar manufacture. Initially the chemical and grain sized characterization of the used materials (cement, sand, hidrated lime and waste) was made. After the trace determination, waste was used on the mortar preparation with the other materials, in substitution of cement at 0%, 2%, 4%, e 6% proportions. Tests were realized to determine the compressions resistance and consistency index of the different mortars prepared. The results of the tests demonstrate an increase in the compression resistance and an increase in the mortar consistence with the utilization of the waste, what it indicates the viability of its application.

Key words: Waste; Ceramic blanket; Mortar.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Tecnólogo em Metalurgia e Materiais - CEFET-ES*

³ *Prof. Dr. da Coordenadoria de Metalurgia e Materiais do CEFET-ES, Vitória, ES; estefanovieira@cefetes.br*

⁴ *Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil do CEFET-MG, BH, MG; fiorotti@civil.cefetmg.br*

⁵ *Prof. Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da Escola Politécnica da USP; São Paulo, SP; jtenorio@usp.br*

⁶ *Prof. Dr. da Coordenadoria de Metalurgia e Materiais do CEFET-ES, Vitória, ES; jroberto@cefetes.br*

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é utilizar o resíduo de lã ou manta cerâmica, proveniente do processo de lingotamento contínuo de aço, na fabricação de argamassa de assentamento e revestimento, em substituição ao cimento.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Reduzir custos referentes à disposição do resíduo de lã cerâmica em aterros industriais;
- Reduzir custos de fabricação de argamassa;
- Viabilizar o consumo do resíduo para minimizar impactos ambientais, devido ao descarte do resíduo em aterros industriais;
- Estudar a influência do resíduo de manta cerâmica na resistência à compressão de argamassas;
- Estudar a influência do resíduo de manta cerâmica na consistência e trabalhabilidade da argamassa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As lãs ou mantas cerâmicas, são produzidas a partir da fusão a 2.400°C de grãos de alumina e de quartzo, das quais se gera filamentos que recebem sopro de ar para uma maior formação de fibras final, processo denominado *Radial Blowing* (Sopro Radial). Normalmente, faz parte da formulação a zirconita, para aumentar a refratariedade da fibra. O resultado é um produto leve, flexível e totalmente inorgânico, obtido através de entrelaçamento dos filamentos das fibras. As mantas Cerâmicas são aplicadas em mais de 50 tipos de produtos, fornecendo soluções para aplicações de alta temperatura em uma larga escala de mercados. A manta cerâmica estudada no presente trabalho é fornecida na forma de manta como mostra a Figura 1.



Figura 1 - Manta de fibra cerâmica 1400.⁽¹⁾

As principais vantagens dos materiais feitos com manta cerâmica são:

- a) Baixo peso - Os equipamentos isolados com manta cerâmica são 75% mais leves que os refratários isolantes e 90 à 95% mais leves que os refratários densos;
- b) Baixo calor armazenado;
- c) Resistência ao choque térmico;
- d) Eficiência térmica - Baixos valores de condutibilidade térmica, aproximadamente 0,46 W/m.K, que segundo Van Vlack,⁽²⁾ permitem revestimentos 45% menores que as espessuras exigidas por uma composição de refratários-isolantes, liberando a câmara útil do forno para maior carregamento;
- e) Flexibilidade de enformamento - O revestimento com manta cerâmica possibilita que os ciclos de aquecimento e resfriamento sejam acelerados;
- f) Resistência às Intempéries - se molhada por água, vapores ou óleo, suas propriedades físicas permanecem inalteradas após a secagem;
- g) Resistência `a Choques mecânicos - pela sua constituição, não suportam choques mecânicos severos; na forma de placas rígidas são particularmente resistentes; e
- h) Resistência à Ataque químico - possui excelente estabilidade química, não sendo afetada pela maioria dos produtos químicos, com exceção dos ácidos fluorídricos, fosfóricos e álcalis concentrados.

Dentre as desvantagens deste material, as mais relevantes são:

- a) Manuseio trabalhoso;
- b) Necessidade de grande área para estocagem;
- c) Material inorgânico, que necessita de aterro industriais monitorados por longos anos;
- e
- d) Prejudicial à saúde, sua inalações pode gerar uma doença denominada silicose, devido ao alto grau de sílica presente em sua composição química.

As principais propriedades físicas dessas mantas estão evidenciadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades Físicas da Manta de Fibra Cerâmica 1400⁽¹⁾

<i>Cor</i>	Branca
<i>Classe de Temperatura*</i>	1400°C
<i>Temperatura de fusão</i>	1760°C
<i>Diâmetro da fibra</i>	2,5 a 3,5 microns
<i>Calor Específico a 1100°C</i>	1.130 J/kg K
<i>Densidade</i>	2,7 g/cm ³

Esta manta é classificada em função da temperatura de trabalho à qual são submetidas. O mercado oferece hoje dois produtos, a manta 1400 e a 1260. A Tabela 2 mostra a análise química das mantas citadas.

Tabela 2 - Análise química das mantas de fibra cerâmica⁽³⁾.

ANÁLISE QUÍMICA		
(% de peso após queima)		
	MANTA 1260	MANTA 1400
Alumina (Al_2O_3)	47	35
Sílica (SiO_2)	53	50
Zircônia (ZrO_2)	-	15
Outros	Traços	Traços

O estudo apresentado no presente trabalho foi feito com a manta 1400. Ela é produzida com alumina, zircônia e sílica de alta pureza, com a adição de um aglomerante inorgânico, que confere à manta características de baixa retração em elevadas temperaturas. Na indústria siderúrgica a manta cerâmica é consumida em grande parte pelo processo de lingotamento contínuo, como função de isolamento térmico da válvula submersa e conferindo proteção térmica, ao distribuidor (chapa de borda). Esta válvula deve ser aquecida antes do início de lingotamento do distribuidor a patamares acima de 900°C para evitar choque térmico, e ao iniciar o lingotamento deve estar com temperatura acima de 800°C. Para evitar a perda de temperatura, utiliza-se a manta de fibra cerâmica durante o aquecimento da válvula submersa como isolante térmico. Ao concluir o aquecimento, uma parte da manta de fibra cerâmica é descartada e a outra (região superior), continua junto à válvula durante a operação, conforme Figura 2.



Figura 2 - Válvula Submersa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Aquisição e caracterização dos materiais a serem usados;
- Determinação do traço e cálculo da quantidade de cada material a ser utilizado;
- Preparação dos corpos de prova; e
- Realização dos ensaios mecânicos e físicos

Foram utilizadas três porcentagens de resíduo na argamassa; 2%, 4% e 6% em peso em substituição ao cimento e comparados com uma amostra padrão sem resíduo. Para cada porcentagem foram realizados quatro ensaios de resistência a compressão e de determinação do índice de consistência.

Uma vez executados os ensaios de determinação da resistência à compressão, granulometria do agregado miúdo, determinação do índice de consistência das diferentes argamassas, os resultados foram comparados entre si.

3.1 Aquisição e Caracterização dos Materiais

Os materiais usados neste trabalho foram: cimento, cal hidratada, areia (agregado miúdo), água e resíduo.

O cimento utilizado foi da marca Nassau tipo CII-E (com adição de escoria granulada de alto forno), a areia foi cedido pelo laboratório de Construção Civil localizado no CEFETE-ES, sendo caracterizado como agregado miúdo comum fino, como será mostrado adiante. A cal utilizada foi da marca Massical tipo CHI.

A caracterização do cimento e da cal foi apresentada pelo fornecedor em suas respectivas embalagens, portanto as caracterizações realizadas neste trabalho foram da areia e do resíduo.

A areia foi caracterizada de acordo com sua granulometria segundo a norma NBR 7217,⁽⁴⁾ e o resíduo foi caracterizado através de sua análise química.

Para a classificação granulométrica da areia, foi utilizada uma amostra de 500 g do agregado miúdo que foi utilizada em todas as argamassas. Esta amostra foi pesada e peneirada no laboratório de Construção Civil localizado no CEFET-ES.

3.2 Determinação do Traço e da Quantidade de Cada Material a ser Utilizado

Foi utilizado o traço em volume de 1:2:9 (cimento, cal, areia), com 12 partes ao todo, e também foi dobrado o peso de argamassa para confecção dos quatro corpos de prova com os diferentes teores de resíduo para os ensaios de compressão e de consistência .

3.3 Preparação dos Corpos de Prova

3.3.1 Corpos de prova para determinação da resistência à compressão

Na fabricação das argamassas para confecção destes corpos de prova, foi elaborado um cálculo de quantidade de materiais gastos para enchimento de quatro moldes cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura para cada tipo de argamassa.

A Tabela 3 apresenta os pesos dos diferentes materiais usados na fabricação de argamassa para os ensaios de resistência a compressão

Tabela 3 – Quantidade de materiais utilizados para fabricação das argamassas.

Material	Cimento (g)	Resíduo (g)	Cal (g)	Areia (g)	Água (mL)
Argamassa					
0% Resíduo	157	-	445	1649	549,75
2% Resíduo	153,86	3,14	445	1649	544,96
4% Resíduo	150,72	6,28	445	1649	542,10
6% Resíduo	147,58	9,42	445	1649	539,23

Todas as argamassas do ensaio de determinação da resistência à compressão foram feitas no laboratório de construção civil localizado no CEFET-ES. Já as cales foram maturadas 16 horas antes do seu uso, com metade da água de hidratação dos aglomerantes respectivos a cada argamassa, e pesada. Após as 16 horas ela foi pesada novamente e completou-se a diferença do peso com água, devido à perda de massa por evaporação da primeira água de maturação.

O resíduo foi preparado manualmente com espátulas, e após a pesagem, sendo ele misturado com outra metade da água de hidratação pré-determinada para argamassa e, em seguida, adicionado no ato da mistura.

Os doze moldes foram devidamente preparados e untados com uma camada leve de óleo mineral, antes de se efetuar a mistura dos materiais.

Os materiais foram misturados em um misturador do tipo Batedeira Eletrônica da marca EMIC modelo AG-5, N° 1048, NS-111, com duas velocidades (lenta e rápida), conforme NBR 7215⁽⁵⁾ e NBR 13279.⁽⁶⁾

Ao término do procedimento de mistura de cada argamassa, foi feito o enchimento dos moldes, e marcados com uma etiqueta cada grupo de 4 moldes respectivos a um tipo de argamassa, conforme a norma NBR 7215,⁽⁵⁾ como mostra a Figura 3.



Figura 3- Moldes preenchidos com argamassa, da coluna da esquerda para direita porcentagem de resíduo de 0%, 2%, 4% e 6% respectivamente.

Após enchimento dos moldes e sua identificação, eles foram submetidos a uma cura inicial ao ar durante 24 horas, protegidos na parte superior por uma placa de vidro. Ao fim da cura ao ar, os corpos de prova foram desmoldados e identificados com giz de cera, sendo, em seguida, imersos em água saturada com cal durante 27 dias.

Ao final da cura de 28 dias, os corpos de prova foram capeados em suas extremidades com enxofre e medidos os diâmetros de cada um. Os corpos de prova foram ensaiados em máquina de compressão da marca WPM – VB – Werkstoffprufmaschinen, com calibração executada pela Dinateste Ind. Com. Ltda (Certificada DNTT 7270/05) em 26/08/05. Os ensaios foram executados de acordo com a norma NBR 13279.⁽⁶⁾

3.3.2 Ensaio para determinação do índice de consistência

O ensaio para determinação do índice de consistência foi realizado no laboratório de construção civil localizado no CEFET-ES, e seguiu os procedimentos da NBR 13276,⁽⁷⁾ utilizando a mesma quantidade de material utilizado no ensaio de

resistência à compressão. Os materiais foram pesados na balança onde se procedeu a pesagem dos materiais para o ensaio de determinação da resistência à compressão.

Todas as cales foram maturadas 20 horas antes do seu uso. Com metade da água de hidratação dos aglomerantes respectivos a cada argamassa, e pesada. Após 20 horas ela foi pesada novamente e completou-se a diferença do peso com água, devido à perda de massa por evaporação da primeira água de maturação. Após a pesagem, o resíduo foi adicionado manualmente com espátulas, sendo ele misturado com outra metade da água pré-determinada para argamassa e, em seguida, adicionado no ato da mistura.

A mistura foi executada em misturador do tipo Batedeira Eletrônica, a mesma em que se procedeu a mistura dos materiais para determinação da resistência à compressão. Ao final de cada mistura de argamassa, foi executado o ensaio para determinação de sua consistência. Este ocorreu, de acordo com a NBR 7215.⁽⁵⁾ O corpo de prova é mostrado na Figura 4.



Figura 4 – Mesa de Ensaio de consistência com argamassa após a retirada do molde cônico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos Materiais

Análise granulométrica da areia

A Tabela 4 mostra os resultados estatísticos do ensaio de granulometria para plotagem do gráfico mostrado na Figura 5, de acordo com a NBR 7217.⁽⁴⁾

De acordo com a análise do gráfico apresentado na Figura 5, o agregado utilizado nos ensaios de resistência à compressão e índice de consistência, define-se como sendo agregado miúdo de graduação fina, definido pela NBR 7217⁽⁴⁾ como: porcentagem, em peso, retida na peneira, para ZONA 2. Ainda na Figura 5, os intervalos entre a seqüência 1 e 3 mostra o limite granulométrico para areia fina, ou ZONA 2.

Tabela 4– Resultados do ensaio de granulometria.

		# Peneira (mm)	Amostra Material Retido (g)	Amostra Retida %	% Média Acumulada
Módulo Finura	2,02	4,8	0	0	0
Diâmetro Máximo	1,2 mm	2,4	1,05	0,21	0,21
Materiais pulverulentos	0,44%	1,2	12,80	2,51	2,72
Origem	Aluvionar	0,6	82,49	16,15	18,87
		0,3	325,44	63,71	82,58
		0,15	73,81	14,45	97,03
		0,075	12,91	2,53	99,56
		Fundo	2,26	0,44	100
		Total	510,76	100	300,97

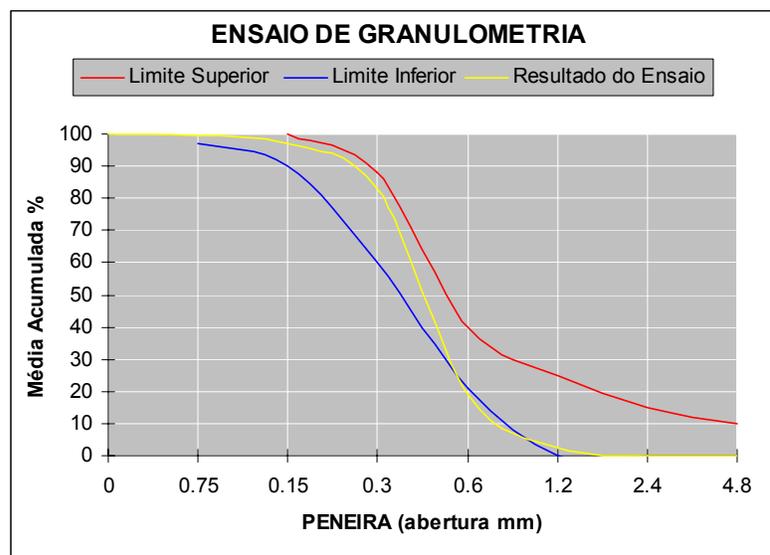


Figura 5 – Ensaio de granulometria com os limites granulométricos superior e inferior para agregados miúdos com módulo de finura de 1,55 à 2,20.

. De acordo com o resultados apresentados na tabela 09, obteve-se as seguintes características do agregado como:

- Módulo de finura = 2,02;
- Diâmetro máximo = 1,2 mm;
- Materiais pulverulentos = 0,44%;
- Origem aluvionar.

A caracterização definida pelo ensaio de granulometria é também um fator que contribui para os resultados tanto da resistência à compressão quanto da consistência e trabalhabilidade, pois a distribuição granulométrica tem grande influência no empacotamento dos grãos. De acordo com as literaturas estudadas a respeito dos agregados, a areia caracterizada como média possui uma zona ótima, dessa forma, a resistência da argamassa poderia ser melhorada se esse agregado fosse utilizado. Mesmo se utilizando agregado fino de menor resistência, a adição de fibra cerâmica em substituição ao cimento proporcionou à argamassa uma melhoria de sua resistência,

podendo-se, dessa forma, viabilizar o seu uso para novas aplicações, devido ao aumento de sua resistência. Conforme a tabela 06, a areia fina com módulo de finura menor que 2,4 tem utilização adequada para reboco de parede nas construções.

Análise química

O resultado da análise detectou a presença de um teor de ferro total igual à 2,36%.

4.2 Resistência à Compressão

De acordo com a Tabela 5, a média da resistência da argamassa mostrou-se maior nos corpos de prova que tiveram a adição do resíduo de fibra cerâmica em substituição ao cimento em relação à argamassa sem adição de resíduo. Porém essa resistência diminui nas argamassas com 4% e 6% do resíduo em relação a argamassa com adição de 2%, não ficando menor do que a argamassa comum.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de compressão.

% Resíduo	Resistência (Mpa)				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Média
0	9,1	8,9	8,8	9,3	9,02
2	10,2	10,4	10,1	10,7	10,35
4	9,4	9,6	9,3	9,6	9,47
6	9,1	9,0	9,2	9,2	9,12

A Figura 6 mostra o gráfico com resultados correspondes à média individual de cada corpo de prova nos ensaios de compressão. A Figura 7 mostra o gráfico da resistência de cada corpo de prova respectivo a um tipo de argamassa.

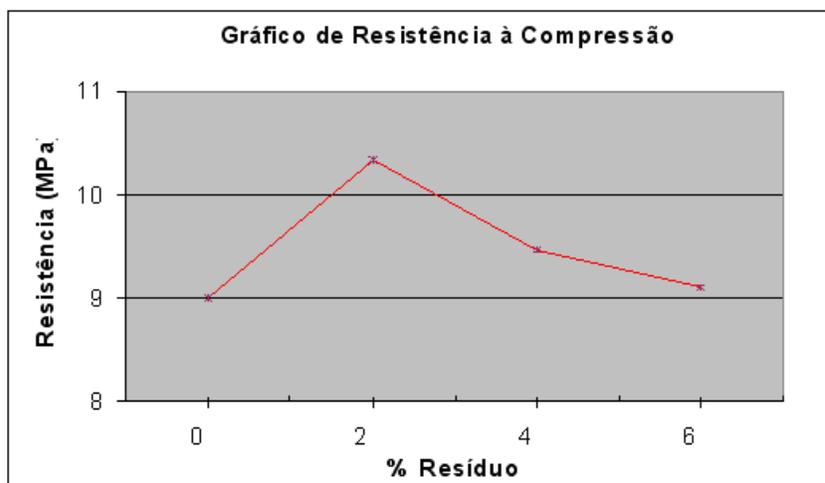


Figura 6 – Variação da Resistência a Compressão média das diferentes argamassas.

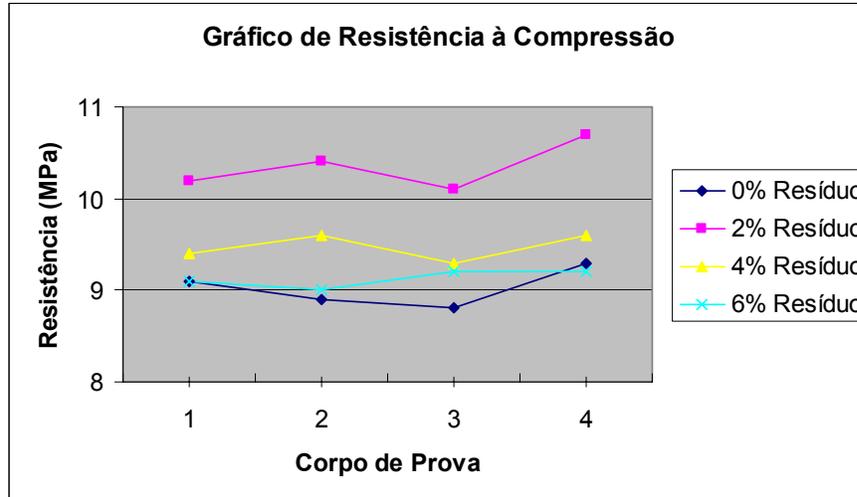


Figura 7 – Gráfico da variação da resistência à compressão das argamassas.

De acordo com os resultados obtidos pelos ensaios de compressão dos corpos de prova, nota-se que a substituição do cimento por 2%, 4% e 6% do resíduo em peso não comprometeu a resistência das argamassas em se comparando com aquela sem adição do resíduo. Devido o resíduo de fibra cerâmica apresentar características físico-química semelhantes aos materiais pozolânicos, possivelmente houve a combinação do mesmo com hidróxido de cálcio e os diferentes componentes do cimento, formando compostos estáveis (silicato de cálcio hidratado), materiais estes mais resistentes e refinadores de poros.

A resistência à compressão teve uma diminuição no grupo das argamassas que tiveram um aumento da adição do resíduo de fibra cerâmica em substituição ao cimento. Possivelmente isso ocorreu pela diminuição da quantidade de cimento, sendo que, provavelmente, a resistência aumentaria caso a quantidade de cimento não fosse alterada e fosse adicionado os mesmos valores de resíduo, pois o cimento tem propriedades aglomerantes e o produto final de sua hidratação forma complexos hidratados que dão uma resistência maior à argamassa.

4.3 Índice de Consistência

A Tabela 6 mostra os resultados das três medidas individuais e as médias do ensaio de consistência de cada tipo de argamassa.

Tabela 6. Resultados das medidas individuais dos ensaios de consistência.

% Resíduo	Consistência das argamassas em mm			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
0	312	312	311	312
2	297	298	295	297
4	305	309	307	307
6	313	325	320	319

De acordo com a tabela 6, a consistência diminuiu em ordem seqüente com valores de 297 mm, 307 mm, 312 mm e 317 mm para as argamassas com adição de 2, 4, 0, 6% do resíduo em substituição ao cimento em peso, respectivamente, ficando esclarecido que de acordo com a norma NBR 13276,⁽⁷⁾ o valor de consistência padrão é de 255 mm +/-10. As argamassas com adição de resíduo tiveram variações de sua consistência, sendo tal variação pouco considerável para a trabalhabilidade. A argamassa com adição de 6% do resíduo em substituição ao cimento em peso proporcionou uma maior trabalhabilidade se comparado com a argamassa com adição de 2% do resíduo em substituição ao cimento em peso, sendo que todos os valores ficaram acima da consistência padrão estabelecido pela norma. É provável que tanto a utilização do resíduo de fibra cerâmica em substituição ao cimento quanto à diminuição de água devido ao fator água/aglomerante tenham influenciado nas propriedades de consistência e trabalhabilidade da argamassa. Caso os resultados obtidos no ensaio de consistência não sejam satisfatórios para uma determinada aplicação, os valores obtidos nos ensaios podem ser alterados aumentando ou diminuindo a relação água/aglomerante ou com adições de aditivos fluidizantes. Essas alterações devem ser feitas de acordo com o uso e aplicação da argamassa.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas condições experimentais do presente trabalho possibilita as seguintes conclusões:

- A utilização do resíduo em argamassa proporcionou um aumento da resistência à compressão dos corpos de prova, sendo que o melhor resultado obtido foi para utilização de 2% do resíduo em substituição ao cimento em peso, em se comparando com uma argamassa padrão.
- Possivelmente a resistência aumentou devida alguma atividade pozolânica do resíduo com o hidróxido de cálcio e diferentes constituintes do cimento, diminuindo assim, a porosidade e dando origem a produtos de maior resistência,
- Segundo o ensaio de granulometria do agregado utilizado para a fabricação das argamassas é classificado como sendo do tipo fino, com módulo de finura de 2,02;
- A consistência nas argamassas teve variações pouco consideráveis, ressaltando que a argamassa com adição de 6% do resíduo em substituição ao cimento em peso teve o maior valor de consistência e trabalhabilidade, podendo esse resultado ser alterado caso modifique-se o fator água/aglomerante;
- Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram que pode ser viável o consumo do resíduo de fibra cerâmica para fabricação de argamassas.

REFERÊNCIAS

- 1 UNIFRAX BRASIL LTDA. Contém informações institucionais, técnicas, e serviços. Disponível em: <<http://www.unifrax.com.br>> Acesso em: 11 de novembro 2007.
- 2 VAN VLACK, LAURENCE H. **Princípios de Ciência dos Materiais**, São Paulo, Editora Edgard Bluncher Ltda, 1995.

- 3 MORGANITE LTDA. Contém informações institucionais, técnicas, e serviços. Disponível em: <<http://www.morganitethermal.com.br>> Acesso em: 11 de novembro 2007.
- 4 _____. **NBR 7217**: Determinação da composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.
- 5 _____. **NBR 7215**: Ensaio de compressão em argamassa. Rio de Janeiro, 1996.
- 6 _____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1995.
- 7 _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo de mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.