



ENTAC2006

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

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE CINZAS PESADA COMO AGREGADO MIÚDO EM CONCRETO NA ABSORÇÃO CAPILAR E RETRAÇÃO PLÁSTICA

**Fernando S. Salvador (1); Janaíde C. Rocha (1); Leonardo de B. Andrade (1);
Malik Cheriaf (1)**

(1) Grupo de Valorização de Resíduos na Construção Civil – ValoRes – Núcleo de Pesquisa na Construção – NPC – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: fersalva@uol.com.br

RESUMO

A presente pesquisa tem por objetivo a investigação do comportamento na absorção capilar e na retração plástica de concretos com incorporação de cinzas pesadas (CZP) de termelétrica em sua composição, em substituição ao agregado miúdo natural. Foram avaliadas inicialmente as características das cinzas pesadas no estado solto e em seguida testadas consolidadas numa matriz de pasta de cimento buscando auxiliar na previsão do seu comportamento quando incorporadas em concretos. Foi investigada também a influência de aditivos plastificantes e superplastificantes. Os resultados apresentaram a dependência da absorção capilar com o teor de substituição de cinza pesada e a influência da umidade natural das cinzas pesadas na retração plástica.

Palavras-chave: cinza pesada, resíduo, absorção capilar, retração plástica.

1 INTRODUÇÃO

Como resultado da geração termelétrica na região Sul do Brasil, estima-se um passivo de 3 milhões de toneladas de cinzas pesadas (CZP) depositadas em bacias de sedimentação sem emprego comercial. Considerando que o mercado da construção civil demanda uma enorme quantidade de matérias-primas naturais e ainda, a possibilidade de escassez de recursos na natureza, justifica-se o emprego de resíduos industriais na construção civil. As cinzas geradas na queima de carvão mineral têm merecido um destaque dentre estes resíduos, principalmente por possuir, na maioria das vezes, propriedades pozolânicas e características semelhantes ao agregado miúdo natural. Partindo da possibilidade de aproveitamento das cinzas pesadas, esta pesquisa visa avaliar a cinética de absorção das cinzas pesadas quando empregadas em concretos, juntamente com a influência do uso de aditivos.

Vários autores mostram os efeitos benéficos das cinzas encontrados nos seus estudos experimentais sobre a utilização dos resíduos de carvão mineral – cinza volante e cinza pesada – em materiais cimentícios. Ressaltando não só os fatores técnico-econômicos, quando empregados na produção de concretos, como também ambientais conseqüentes da deposição final das cinzas. (ANDRADE, 2004; LENZI, 2001). KREUZ et al. (2002) realizaram investigações sobre o comportamento da incorporação das cinzas pesadas em substituição aos aglomerantes (cimento) e em substituição aos agregados miúdos (areia), sendo os resultados obtidos na substituição dos agregados miúdos mais interessantes, devido à maior consumo das cinzas e menor ou nenhum efeito no comportamento mecânico. Uma metodologia para um melhor entendimento dos processos que envolvem a incorporação das cinzas pesadas em misturas de concreto foi avaliada na pesquisa de ANDRADE (2004), onde ficou evidenciado que estudos prévios em argamassas permitiram uma melhor previsão do comportamento das cinzas quando usadas nos concretos.

A utilização da cinza pesada é determinada pelas suas características físicas, tais como: granulometria, efeito filer, pozolanicidade tardia e potencial de colaboração (RAMME et al., 1998 apud CHERIAF et al., 1999).

A absorção capilar de água, processo físico pelo qual o concreto absorve água através dos poros e condutos capilares, sendo esta dependente, porosidade, conectividade e tortuosidade, é de grande importância na avaliação de materiais que podem ser classificados como agregados porosos como é o caso das cinzas pesadas na presente pesquisa considerada. BARBARE et al. (2003) afirmam que quando cinzas são usadas para substituir os agregados finos em concreto, as diferenças na quantidade de umidade de equilíbrio (absorvida + umidade superficial) exigem quantidades de água diferentes adicionadas ao concreto. Como resultado, o ganho de umidade pelas cinzas é significativamente maior do que pela areia, refletindo a natureza porosa das partículas. Quando esses mesmos autores investigaram o comportamento em concretos os resultados mostraram que a taxa inicial de penetração de água tem dependência linear característica de “ $t^{1/2}$ ”. HANZIC e ILIC (2003) estudaram a absorção de água por capilaridade em concretos buscando obter os coeficientes de capilaridade e de sorptividade, conforme eq. 1, estabelecida por PHILIP (1957).

$$i = S \times \sqrt{t} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde,

i – volume de líquido absorvido por área de seção, em mm^3/mm^2

S – coeficiente de sorptividade, em $\text{mm}/\text{h}^{1/2}$

t – tempo, em h

LERCH (1957) definiu a retração plástica como a retração que ocorre na superfície do concreto nas primeiras horas após ele ter sido moldado, enquanto o concreto ainda está plástico, antes que atinja uma resistência significativa e esta ocorre principalmente nas superfícies horizontais. De acordo com POWERS (1960), quando ocorre a retração plástica um complexo sistema de meniscos geralmente se forma na superfície do concreto e as partículas mais próximas do topo são levadas a descer por forças compressivas gravitacionais. A ação das forças compressivas nos grãos mais próximos da superfície pode explicar a contração vertical, mas não a horizontal ou o desenvolvimento de fissuras. Entretanto, uma retração tridimensional ocorrerá quando a água de mistura é transferida para a superfície por forças capilares (figura 1).

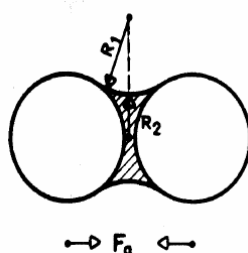


Figura 1 - Representação esquemática do preenchimento de um vazio entre duas partículas por um líquido (WITTMANN, 1976)

Pode ser considerado ainda que decorrem de uma contração volumétrica de um sistema na qual a água constitui uma fase contínua e os meniscos de água são localizados na superfície do sistema. Os processos de retração plástica envolvem uma transferência de massa da superfície do concreto para os arredores, por evaporação, e uma simultânea transferência de massa de dentro do concreto para a sua superfície por exsudação (RADOCEA, 1992).

Assim, este trabalho tem por objetivo investigar a presença da cinza pesada incorporada em concreto como material substituinte da areia natural como agregado miúdo e analisar sua influência no desempenho das matrizes frente à absorção capilar e retração plástica.

2 MATERIAIS

O cimento empregado na elaboração dos concretos foi do tipo CPV-ARI 32 sem adições em sua composição.

Como agregado miúdo, foram utilizadas duas areias diferentes: uma composição granulométrica com areia normalizada IPT de 25% em massa das frações 0,15-0,30, 0,30-0,60, 0,60-1,20 e 1,20-2,40 mm utilizadas nos ensaios de modelo reduzido; e uma areia natural de rio, empregada nos concretos, classificada como areia média (Tabela 1).

As cinzas pesadas (CZP) foram coletadas na esteira da unidade C do complexo Termelétrico de Jorge Lacerda, Capivari de Baixo – SC. As características físicas das cinzas pesadas são apresentadas na Tabela 1. Pela composição química da cinza pesada da esteira nota-se que a somatória de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ supera 75%, caracterizando o material como sílico-aluminoso e confirmando um certo potencial de atividade pozolânica para as cinzas (Tabela 2). De acordo com a composição granulométrica 50% das cinzas pesadas são constituídas de partículas com dimensões inferiores a 0,25mm, possuem dimensão máxima de 4,8mm e módulo de finura 1,55 (Gráfico 1).

O agregado graúdo empregado foi de origem granítica, com diâmetro máximo 19,0mm (Tabela 1).

Foram utilizados dois diferentes tipos de aditivos: Degussa Glenium51 com base química em policarboxilatos (superplastificante) e Grace MIRA®RT64 (plastificante).

Tabela 1: Características dos agregados empregados na pesquisa

Parâmetro	Areia	CZP	Brita
Área específica (m^2/Kg)	-	106,5	-
Massa específica (kg/m^3)	2.633	1.634	2.701
Massa Unitária (kg/m^3)	1,443	0,540	1,39
Diâmetro máximo (mm)	2,4	2,4	19,0
Módulo de finura	2,50	1,55	3,06
Perda de Massa ao Fogo (%)	-	3,3	-
Atividade Pozolânica (28 dias)	-	0,35	-

Tabela 2: Composição química das cinzas

%	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	CaO	TiO_2	SO_3	ZrO_2	V_2O_5	MnO	CO_2
CZP	50,5	28,3	10,7	3,8	2,1	1,6	0,3	0,2	0,1	0,1	2,3

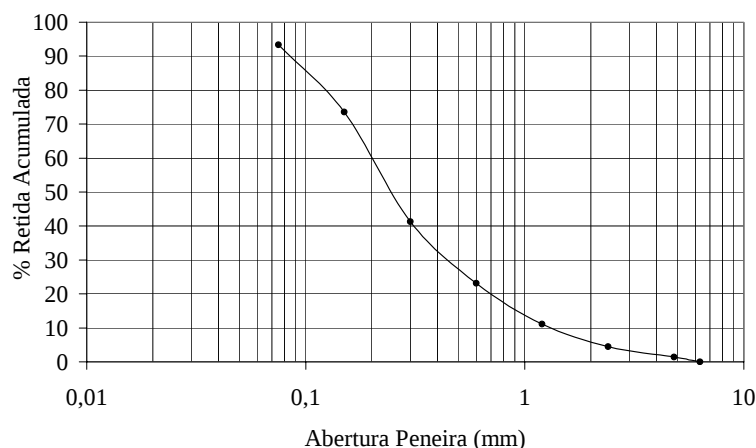


Gráfico 1 - Curva granulométrica da cinza pesada

3 METODOLOGIA

A Figura 2 resume o esquema da metodologia utilizada nesta pesquisa.

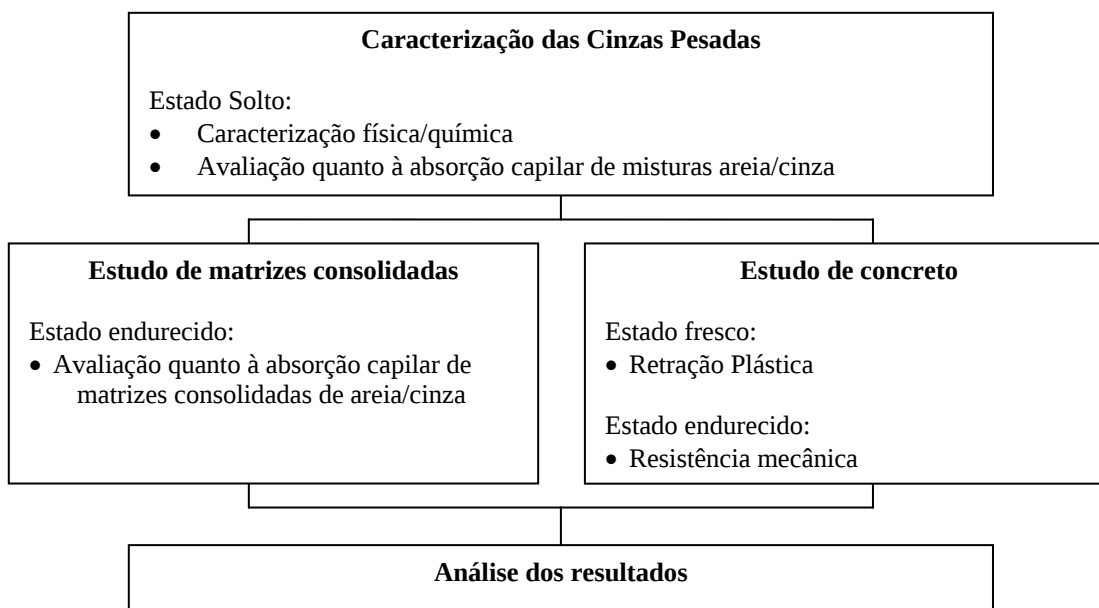


Figura 2 - Metodologia experimental

3.1 Absorção capilar nas cinzas pesadas

Além da caracterização física e química das cinzas pesadas, procurou-se também analisar os parâmetros quanto ao comportamento das cinzas pesadas frente à sucção capilar. O ensaio de absorção capilar é baseado no monitoramento da absorção capilar da amostra baseado no princípio da garrafa de Mariote (ANDRADE, 2004), onde a coluna de água na garrafa não exerce pressão sobre a amostra, sendo a água absorvida exclusivamente por sucção capilar. Baseando-se nas propriedades físicas apresentadas na Figura 3 e eq. 2, 3 e 4:

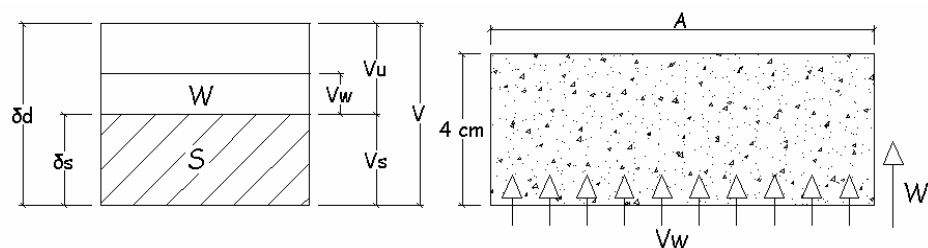


Figura 3 - Parâmetros físicos considerados na avaliação da absorção capilar

$$W = \frac{P_w}{P_s} \quad (\text{eq. 2})$$

$$\eta = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \quad (\text{eq. 3})$$

$$I = \frac{V_w}{A} \quad (\text{eq. 4})$$

W – teor de umidade, em %;

P_w – peso da água, em gf/cm³;

P_s – peso do sólido, em gf/cm³;

η – porosidade;

γ_d - massa específica dos grãos da amostra, em gf/cm³;

γ_s - massa unitária dos grãos no estado solto, em gf/cm³;

I – índice de absorção, em cm³/cm²;

V_w – volume de água, em cm³;

V_u – volume de vazios, em cm³;

V_s – volume de sólidos, em cm³;

A – área da amostra em contato com a água, em cm²;

Este procedimento foi empregado na avaliação da absorção capilar no estado solto de diferentes composições de material granular areia IPT/cinza pesada, partindo do material natural (M1), passando por diversos teores de substituição por cinza pesada até a amostra composta somente por cinza pesada (M9), lançadas em um anel de volume constante de diâmetro 10cm e altura 4cm com suas proporções indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Teores de material nas composições areia IPT/cinza pesada

Amostra	Teor em massa (%)		Teor em volume (%)		Volume de vazios (cm ³)
	Areia IPT	CZP	Areia IPT	CZP	
M1	100,0	0,0	100,0	0,0	140,2
M2	96,2	3,8	90,7	9,3	148,2
M3	91,6	8,4	81,0	19,0	156,0
M4	85,9	14,1	70,4	29,6	164,9
M5	80,8	19,2	62,1	37,9	175,6
M6	74,1	25,9	52,7	47,3	183,8
M7	64,4	35,6	41,4	58,6	191,0
M8	39,1	60,9	20,1	79,9	206,4
M9	0,0	100,0	0,0	100,0	222,6

3.2 Matrizes consolidadas

Buscando uma melhor compreensão da influência das cinzas no fenômeno da capilaridade, as composições com diferentes teores de material granular areia IPT/cinza pesada foram consolidadas em uma matriz de pasta de cimento definida em função do volume de vazios da amostra de referência (M1) e empregada em todas as composições (Tabela 4). O molde foi o mesmo do estudo com o material granular no estado solto, descrito no item 3.1.

Tabela 4 - Composição das matrizes consolidadas

Amostra	Areia IPT (g)	CZP (g)	Areia IPT (cm ³)	CZP (cm ³)	Água (cm ³)	a/c	Cimento (g)
M1	500,0	0,0	330,1	0,0	140,2	0,74	189,5
M2	450,0	18,0	297,1	30,5	140,2	0,74	189,5
M3	400,0	36,5	264,1	61,8	140,2	0,74	189,5
M4	350,0	57,5	231,0	97,3	140,2	0,74	189,5
M5	300,0	71,5	198,0	121,0	140,2	0,74	189,5
M6	250,0	87,5	165,0	148,1	140,2	0,74	189,5
M7	200,0	110,5	132,0	187,0	140,2	0,74	189,5
M8	100,0	155,5	66,0	263,2	140,2	0,74	189,5
M9	0,0	195,0	0,0	330,1	140,2	0,74	189,5

Essas matrizes consolidadas (corpos-de-prova) foram avaliadas quanto à absorção capilar quando atingiram os 28 dias de idade após secagem em estufa por 48h e cobertas lateralmente com filme plástico para se evitar interferência nos resultados por meio de evaporação.

3.3 Estudo dos concretos

Para os concretos plásticos, foi empregada a metodologia de dosagem proposta por ANDRADE (2004) adotando uma mistura de referência 0%, e outra com 50% de substituição da areia por cinza pesada. Esta última, realizada em dois padrões de mistura a fim de se avaliar a influência da velocidade de absorção de água pela cinza para uma mesma relação água/cimento: a primeira (50%_s), realizada com a cinza pesada inicialmente seca; e a segunda (50%_u), com a cinza próxima a sua umidade natural, cerca de 50%, e esta quantidade de umidade descontada da água a ser incorporada na mistura. Foi avaliada também a influência do emprego de aditivos, sendo testados os aditivos Glenium51 (n) Superplastificante e Grace (g) plastificante no teor de 0,6% da massa de cimento. As dosagens das misturas são apresentadas na Tabela 5.

Conforme metodologia empregada por ANDRADE (2004), a avaliação da retração plástica nos concretos foi realizada em corpos-de-prova prismáticos (7x7x50cm) onde as amostras eram ancoradas ao molde pela utilização de parafusos fixados nas extremidades do molde. Sendo uma das extremidades liberadas após o início de pega e a sua variação monitorada por meio de um transdutor de deslocamento. Essa configuração faz com que não haja restrição para deformação por retração. As medições iniciaram logo depois de atingido o tempo de pega.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Absorção capilar no estado solto – material granular

Para se compreender o efeito do uso da cinza pesada frente à absorção capilar de água foi avaliado o comportamento destes materiais segundo procedimento apresentado na Figura 4, com os materiais granulares, no estado solto (Tabela 3), onde curvas de absorção por sucção capilar de mesclas areia/cinza pesada em diferentes composições foram plotadas (Gráfico 2).

Tabela 5: Dosagem das misturas empregadas no estudo

Tipo do Concreto	Consumo de Materiais, Kg/m3					Relação a/c	Umidade da CZP* (%)	
	Cimento	Areia	CZP	Brita	Aditivo			
					Glenium(n)			Grace(g)
0%	304	912	0	806	---	---	0,74	---
0%n	304	912	0	806	1,824	---	0,74	---
0%g	304	912	0	806	---	1,824	0,74	---
50%s	334	501	212	885	---	---	0,74	0,0
50%n	334	501	212	885	2,004	---	0,74	0,0
50%g	334	501	212	885	---	2,004	0,74	0,0
50%u	334	501	212	885	---	---	0,74	50,0

*Umidade da cinza pesada no momento em que foi incorporada à mistura

Nota-se diferentes comportamentos quanto à absorção capilar dos materiais, onde o aumento do teor de cinzas pesadas nas composições eleva os valores de água absorvida e a velocidade de absorção. As amostras que continham somente um tipo de material, não compostas, resultaram numa diferença significativa de 88% a mais de água para a cinza pesada (M9) em relação à areia natural (M1). Comportamento esse de grande influência na determinação da quantidade de água para a elaboração do concreto.

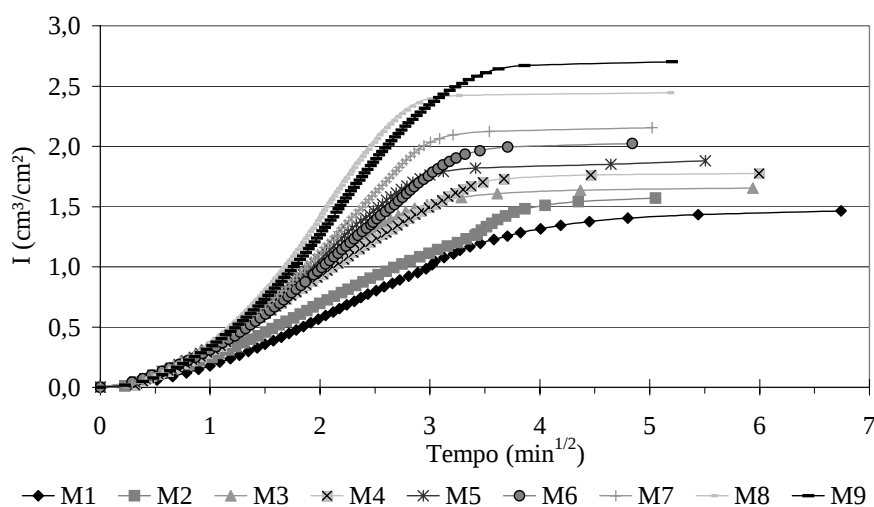


Gráfico 2 - Curvas de absorção capilar de composições areia/cinza pesada no estado solto

4.2 Absorção capilar em matrizes consolidadas

As curvas de absorção das matrizes consolidadas com cimento conservando o mesmo esqueleto das amostras granulares são apresentadas no Gráfico 3.

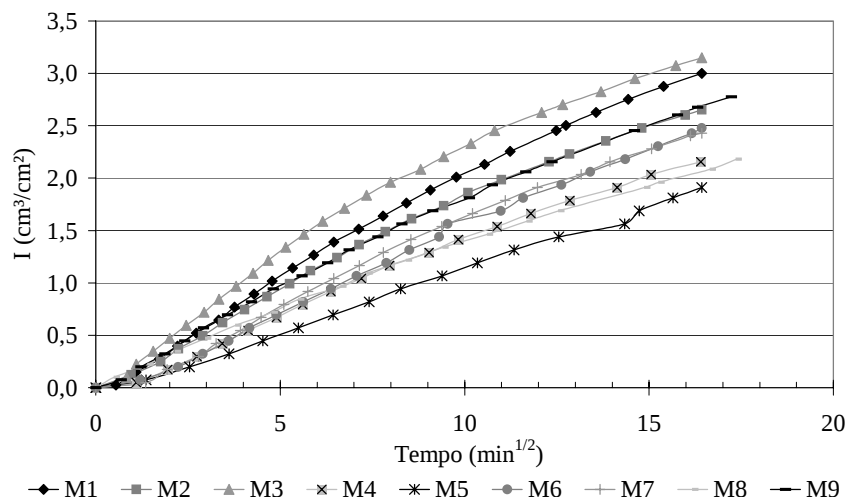


Gráfico 3 - Curvas de absorção capilar de composições areia/cinza pesada consolidadas

Diferente dos resultados obtidos nas amostras granulares, as matrizes consolidadas apresentaram grande dispersão nos resultados, não apresentando acréscimo de absorção proporcional à incorporação de cinza pesada na mistura. Se pode atribuir esse fato a alteração do sistema de poros na mistura.

Os valores de umidade de saturação para as matrizes consolidadas apresentaram-se muito próximos, sofrendo pequena variação da umidade em função do acréscimo de incorporação de cinza pesada. Diferente do ocorrido no material granular, que apresentou acréscimo no valor da umidade de saturação diretamente proporcional ao incremento da substituição de areia por cinza pesada (Gráfico 4).

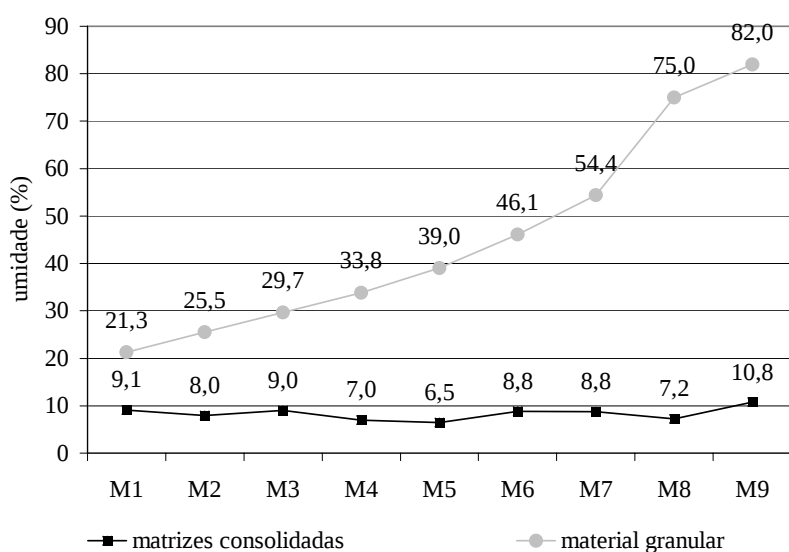


Gráfico 4 - Teores de umidade de saturação em massa

4.3 Retração plástica

A retração plástica dos concretos, compreendida entre o início e final da pega, conforme metodologia apresentada por ANDRADE (2004), foi avaliada em condições controladas de temperatura $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa variando para cada ensaio de 50 a 75%.

Os resultados das curvas de retração para os concretos sem o emprego de aditivos estão apresentados no Gráfico 5, sendo que, para os concretos com emprego de aditivos os resultados forneceram valores de retrações muito próximas a 0(zero), ficando assim difícil a distinção entre elas.

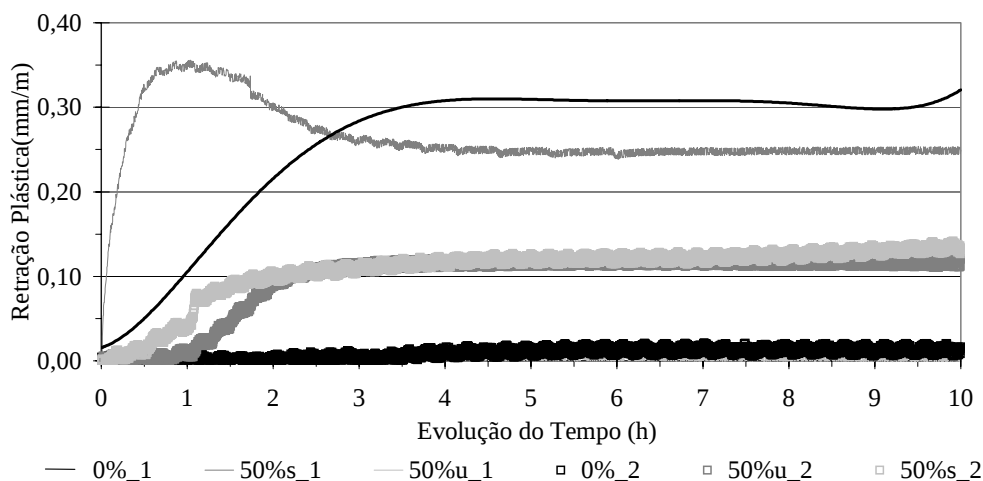


Gráfico 5 - Curvas de retração plástica para os concretos sem aditivos

Simultaneamente aos valores de retração máxima, devem ser analisadas também as condições de ensaio, onde a umidade relativa (UR%) acarreta em grande influência nos resultados.

Conforme resultados apresentados, é possível constatar que a umidade relativa quando reduzida próxima a 50% causa um grande acréscimo nos valores de retração, tanto para o concreto de referência (0%_1), como para o concreto com cinza incorporada (50%_s_1) quando comparado aos seus respectivos, (0%_2) e (50%_s_2), em UR 75%. Observa-se também que os concretos produzidos com a incorporação de cinzas secas no momento da mistura promoveram aumento nos valores de retração plástica máxima para as duas repetições quando comparados com as cinzas inicialmente úmidas. Quanto ao emprego de aditivos, ambos promoveram reduções nos valores de retração máxima, levando-as à zero, tanto para os concretos com agregado natural quanto para os concretos com cinza pesada, não sendo observadas diferenças entre os dois aditivos.

5 CONCLUSÕES

As cinzas pesadas, quando avaliadas no seu estado natural, apresentaram maior quantidade de finos em sua composição granulométrica, menor massa específica e maior capacidade de absorção de água, atingindo a cinza pesada uma absorção capilar 88,8% maior em relação a areia para um mesmo volume de material em mesma condição de ensaio. O aumento do volume de água absorvido nas misturas se deu de maneira proporcional ao incremento de cinza pesada na substituição.

Para a avaliação do comportamento frente à absorção capilar das matrizes consolidadas com pasta de cimento, preservando o esqueleto sólido da matriz granular, não foi possível estabelecer uma relação direta com o material granular no estado solto. Valores muito próximos de umidade de saturação para as matrizes consolidadas foram constatados, variando de 6,5% (M5) até 10,5% (M9), muito diferente

das umidades observadas no estado solto, variando a umidade proporcionalmente com o incremento da substituição de areia por cinzas pesada de 21,3% para areia (M1) até 82,0% para cinza pesada (M9).

No estudo dos concretos foi possível observar a influência da redução da umidade relativa durante o ensaio com o aumento dos valores de retração plástica máxima. Constatou-se também que a incorporação de cinzas secas no momento da mistura promove maior valor de retração plástica em relação à incorporação das cinzas previamente úmidas no momento da mistura. No instante da incorporação das cinzas secas, existe uma maior quantidade de água disponível na mistura, água de amassamento, uma vez que as cinzas pesadas possuem cinética de absorção diferenciada em relação à areia, ocorrendo de maneira mais lenta, por um intervalo de tempo prolongado e em maior quantidade. À medida que o tempo de contato da cinza com a água evolui as cinzas passam a trabalhar como esponjas absorvendo água livre na mistura. Quando empregados aditivos, ambos promoveram redução nos valores de retração plástica, levando-as a 0(zero).

Conforme os resultados obtidos, é possível afirmar que o teor de umidade inicial das cinzas pesadas durante a mistura promove alterações nas características dos concretos, como pode ser observado pelo aumento da retração plástica máxima e diminuição da resistência mecânica. Onde o emprego de cinzas previamente secas aumenta a quantidade de água inicialmente livre e que ao longo do tempo vai sendo absorvida pela cinza pesada até esta atingir sua umidade de saturação.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L.B. **Metodologia de avaliação para uso de cinzas pesadas de termelétricas como agregado natural para concreto**. 2004. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- BARBARE N. et al. Uptake and loss of water in a cenosphere–concrete composite material. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 1681-1686, 2003.
- CHERIAF M. et al. Pozzolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1387-1391, 1999.
- HANZIC L., ILIC R. Relationship between liquid sorptivity and capillarity in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 1385-1388, 2003.
- KREUZ A. L. et al. Estudo das propriedades dos concretos utilizando cinzas pesadas como parte da areia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.
- LENZI, E.J. **Influência do uso de cinzas da combustão de carvão mineral em argamassas de revestimento**. 2001. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- LERCH, W. Plastic shrinkage. **ACI Journal Proceedings**, v. 53, p. 797-802, 1957.
- PHILIP J.R. The Theory of infiltration: 4. sorptivity and algebraic infiltration equations. **Soil Science**, v. 84, p. 257-264, 1957.
- POWERS T.C. Physical properties of cement paste. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT: Session V – Properties of Cement Paste and Concrete, 4., 1960, Washington D.C. **Proceedings...** p. 577-613.
- RADOCEA, A. **A study on the mechanisms of plastic shrinkage of cement-based materials**. 1992. 125 f. Doctoral dissertation – Chalmers University of Technology, Göteborg, 1992.
- WITTMANN F.H. On the action of capillary pressure in fresh concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 6, p. 49-56, 1976.