

AValiação da Resistência Mecânica de Concretos Celulares Espumosos de Alto Desempenho

Eduardo Mesquita Cortelassi (1); Berenice Martins Toralles-Carbonari (2)

(1) Departamento de Construção Civil – Universidade Estadual de Londrina, Brasil – e-mail: cortelassi@sercomtel.com.br

(2) Departamento de Construção Civil – Universidade Estadual de Londrina, Brasil – e-mail: toralles@uel.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico dos concretos celulares espumosos de alto desempenho, buscando o aprimoramento de seu comportamento em relação aos concretos celulares convencionais. Os concretos celulares espumosos de alto desempenho foram desenvolvidos na tentativa de aliar a resistência mecânica e a durabilidade satisfatórias do concreto de alto desempenho com propriedade de baixa massa específica dos concretos celulares espumosos. Para atingir o objetivo proposto foram realizados ensaios de caracterização dos materiais constituintes, conforme as normas de referência. A partir dos resultados obtidos realizou-se o estudo e a fixação da dosagem da matriz de alto desempenho. Partiu-se da hipótese que, ao adicionar espuma em uma matriz de alto desempenho obter-se-ia um concreto celular espumoso de alto desempenho. Desta forma, foram determinadas as diferentes dosagens de espuma a serem incorporadas à matriz para a obtenção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho com massas unitárias entre 1700 e 2000 Kg/m³. Para caracterizar o comportamento mecânico dos concretos celulares espumosos de alto desempenho foram realizados ensaios de resistência à compressão, resistência à tração, retração linear e ultra-som. Com os resultados obtidos verificou-se que todas as propriedades analisadas foram influenciadas pelo teor de espuma incorporado. Os concretos celulares espumosos de alto desempenho apresentaram um comportamento superior ao do concreto celular espumoso convencional, demonstrando que este material apresenta um grande potencial para ser utilizado na Construção Civil. Acredita-se que essa superioridade tenha ocorrido em virtude do refinamento da microestrutura da matriz de alto desempenho e das características dos poros incorporados aos concretos. Sendo assim, conclui-se que a obtenção do concreto celular de alto desempenho só será possível a partir de matrizes que apresentem alto desempenho, considerando a perda de desempenho que ocorre em função da incorporação da espuma.

Palavras-chave: propriedades mecânicas, retração, concreto celular espumoso de alto desempenho.

ABSTRACT

The present work has as objective to evaluate the mechanical behavior of concrete cellular frothy of the high performance, being searched improvement of its behavior in relation to concrete the cellular conventional. Concrete cellular the frothy ones of high performance had been developed in the attempt to unite the resistance satisfactory mechanics and the durability of the concrete of high performance with cellular concrete property of low specific mass of the frothy ones. To reach the objectives assays of characterization of the constituent materials had been carried through, as the reference norms. From the gotten results one became fulfilled the study and the setting of the dosage of the matrix of high performance. It was broken of the hypothesis that, to if adding foam in a matrix of high performance if would get a frothy cellular concrete of high performance. Of this form, the different dosages of foam had been determined to be incorporated to the matrix for the attainment of concrete cellular the frothy ones of high performance with unitárias masses between 1700 and 2000 Kg/m³. To characterize the mechanical behavior of concrete cellular the frothy ones of high performance assays of compressive strength had been carried through, tensile strenght, linear

retraction and ultrasound. With the gotten results it was verified that all the analyzed properties had been influenced by the incorporated foam text. Concrete cellular the frothy ones of high performance had presented a superior behavior to the one of the cellular concrete frothy conventional, having demonstrated that this material presents a great potential to be used in the Civil Construction. One gives credit that this superiority has occurred in virtue of the refinement of the microstructure of the matrix of high performance and the characteristics of the incorporated pores to the concrete ones. Being thus, one concludes that the attainment of the cellular concrete of high performance alone will be possible from matrices that present high performance, considering the loss of performance that occurs in function of the incorporation of the foam.

Keywords: mechanical properties, retraction, frothy cellular concrete of high performance.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o concreto vem sendo largamente utilizado como material de construção no Brasil devido às suas características, dentre as quais destacam-se: a possibilidade de ser moldado numa variedade de formas e tamanhos, ser mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obras do que outros materiais de construção.

Os concretos convencionais de cimento Portland e agregados de peso normal são excelentes materiais de construção, pois são duráveis, apresentam adequada resistência à compressão e rigidez, e têm um custo relativamente baixo. Entretanto, devem ser reconhecidas algumas limitações apresentadas pelos concretos convencionais, tais como: peso próprio elevado, baixa resistência à tração e resistência a agentes químicos insuficiente (TEZUKO, 1989).

Assim, tendo em vista que uma das deficiências do concreto, em face dos seus materiais concorrentes, era seu peso próprio elevado, e que a velocidade de execução e a própria economia da construção que variam na razão inversa deste peso, tornou-se necessário a sua redução (PETRUCCI, 1978). Para atender a esta necessidade foram desenvolvidos os concretos leves, cuja principal característica é a sua menor massa específica aparente, comparativamente com o concreto dito “normal” ou convencional.

A redução na massa específica do concreto leve foi alcançada através da substituição de parte dos materiais sólidos por poros. Existem três localizações possíveis para os poros nos concretos leves: nas partículas de agregado, conhecidos como agregados leves, na pasta de cimento; e entre as partículas de agregado graúdo, deixando-se de utilizar o agregado miúdo (NEVILLE, 1997).

A tentativa de redução do peso próprio alcançada com os concretos leves foi bem sucedida no que diz respeito à leveza e aos ótimos desempenhos nas propriedades de resistência ao congelamento/descongelamento, isolamento térmico, isolamento acústico e de resistência ao fogo. Contudo, deve-se ressaltar que a substituição de parte dos materiais sólidos por poros também ocasionou uma redução significativa nas propriedades mecânicas destes concretos.

O crescente avanço tecnológico em todos os setores e, particularmente, nos processos construtivos, forçou o desenvolvimento de materiais novos que atendessem às necessidades impostas nas construções. Com o aumento das exigências do mercado quanto ao desempenho estrutural, surgiu a necessidade da produção de concretos com resistência mecânica e durabilidade maiores que a do concreto comumente empregado. Surge, então, o chamado concreto de alto desempenho (CAD), que vem ao encontro dessas necessidades, pois pode ser submetido a tensões mais elevadas, trazendo uma série de vantagens estruturais.

O concreto de alto desempenho (CAD) tem sido pesquisado e utilizado nos últimos anos em diversos países. O CAD apresenta, além da resistência mecânica, superioridade em outras características, tais como, baixa permeabilidade, excelente durabilidade, ótima aderência a concretos velhos e aço, baixa segregação, entre outras.

Diversas pesquisas foram realizadas no mundo todo com o intuito de otimizar ainda mais as propriedades do concreto de alto desempenho. Dentre elas, destaca-se a linha de pesquisa relativa aos concretos leves de alto desempenho com o intuito de unir as características otimizadas do CAD com a baixa massa específica dos concretos leves.

Diante do exposto e do grande potencial de aplicação dos concretos leves de alto desempenho na Construção Civil, o presente trabalho buscou desenvolver o concreto celular espumoso de alto desempenho através da união da tecnologia de produção dos concretos de alto desempenho e dos concretos celulares espumosos e avaliar comportamento mecânico.

Os concretos celulares espumosos de alto desempenho podem ser definidos como um concreto leve produzido através da adição de poros em uma matriz de alto desempenho. A matriz de alto desempenho é uma mistura constituída de: aglomerante, adição mineral, aditivo químico, agregados classificados na categoria finos e água. Com o objetivo de criar em sua massa uma alta porcentagem de poros esféricos de dimensões regulares e milimétricas, uniformemente distribuídos, que permanecem estáveis, incomunicáveis e indeformáveis, esta mistura deve receber a adição de um agente espumígeno ou a adição de espuma pré-formada.

Deve-se ressaltar que, só é possível obter um concreto celular espumoso de alto desempenho quando este for produzido a partir de uma matriz de alto desempenho, pois a incorporação de poros leva a perda de desempenho nas propriedades de um modo geral (CORTEPASSI, 2005).

2 OBJETIVO

Avaliar o comportamento mecânico do material denominado concreto celular espumoso de alto desempenho, de modo que o mesmo apresente melhores características mecânicas em relação ao desempenho dos concretos celulares espumosos convencionais.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Os materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram: adição mineral – sílica ativa, cimento Portland de alta resistência inicial - CP V ARI, aditivo redutor de água de alta efetividade – superplastificante, aditivo gerador de espuma, água, areia grossa natural e areia de britagem.

O cimento, a sílica ativa e os aditivos químicos selecionados para a produção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho são produtos industrializados de comercialização nacional. Os agregados utilizados foram: a areia quatzosa e a areia de britagem de basalto encontrados na região.

Cabe destacar que para seleção dos materiais constituintes foram considerados dois fatores: a disponibilidade destes na região e a possibilidade de incorporar resíduos de processos industriais como materiais constituintes, tais como a sílica ativa e o areia de britagem. Esses resíduos por não terem aplicação são depositados no meio ambiente causando poluição. Segundo Isaia (2002), a incorporação de resíduos ao concreto, além das vantagens técnicas obtidas, é um modo seguro e barato de remover esses produtos do meio ambiente, contribuindo para a conservação de energia e de recursos minerais.

3.2 Método

O presente trabalho partiu da hipótese que ao se incorporar poros em uma matriz de alto desempenho, constituída de: cimento Portland de alta resistência inicial, adição mineral-sílica ativa, aditivo redutor de água de alta efetividade-superplastificante, água, areia grossa e areia de britagem, essa mistura resultaria em um concreto celular espumoso de alto desempenho.

O desenvolvimento experimental do trabalho foi dividido em três etapas, a primeira relativa à dosagem da matriz de alto desempenho, a segunda relativa à dosagem de espuma e a última referente avaliação das propriedades mecânicas dos materiais analisados.

Inicialmente, foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais constituintes segundo as normas de referência. Com os resultados da caracterização procedeu-se a dosagem da matriz de alto desempenho utilizando o método de dosagem para concretos de alto desempenho proposto por

TORALLES-CARBONARI (1996). Esse método se fundamenta nas hipóteses apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Hipóteses adotadas em cada etapa do processo de dosagem

Etapas do processo	Hipóteses adotadas
Pasta	A fluidez da pasta é quem governa as propriedades reológicas do concreto. Existe uma % ótima de aditivo superplastificante que é função do ponto de saturação determinado no ensaio do cone de Marsh e/ou viscosímetro.
Esqueleto Granular	Menor índice de vazios.
Consumo pasta-esqueleto	Consumo ótimo em função do desempenho desejado.

O consumo de materiais encontrado através da aplicação deste método para a produção de 1m³ da matriz de alto desempenho é apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Traço da matriz de alto desempenho para 1m³

Cimento	Sílica ativa	Superplastificante	Areia Grossa	Areia de britagem	Água
(kg)	(kg)	(litros)	(kg)	(kg)	(litros)
489,9	48,9	9,7	925,7	925,7	201,8

A dosagem das quantidades de espuma a serem adicionadas a matriz de alto desempenho para a obtenção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho com massas unitárias desejadas foram baseadas na curva para dosagem de espuma desenvolvida experimentalmente por CORTELASSI (2005), apresentada no gráfico 1.

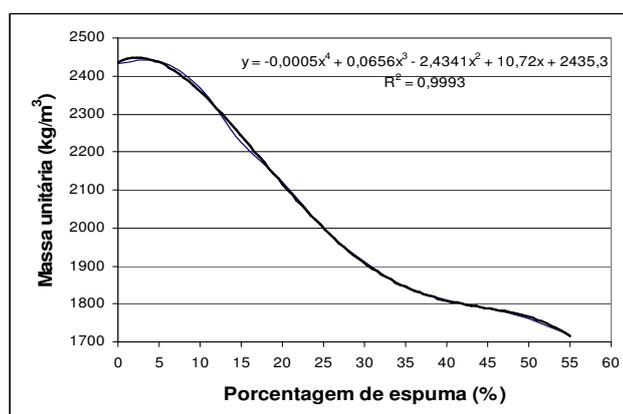


Gráfico 1 – Curva para determinação da dosagem de espuma

A partir do planejamento experimental chegou-se ao número de amostras necessário para caracterizar o comportamento dos concretos celulares espumosos de alto desempenho. Foram selecionados como amostras quatro concretos celulares espumosos de alto desempenho com massas unitárias entre 1700 e 2000 kg/m³. A matriz de alto desempenho a partir da qual os concretos foram produzidos apresentava

massa unitária de 2432 kg/m³. Na tabela 3 são apresentadas às massas unitárias das amostras e os teores de espuma adicionados a matriz de alto desempenho para sua obtenção.

Tabela 3 – Massa unitária e teores de espumas adicionados a matriz para a obtenção das amostras

Concretos	Porcentagem de espuma (%)	Massa unitária (kg/m ³)
Amostra 1	32	1874
Amostra 2	54	1720
Amostra 3	0	2432
Amostra 4	33	1859
Amostra 5	21	2009

A nomenclatura das amostras foi fixada segundo a ordem de produção dos concretos. O processo de produção de cada amostra sempre partiu da mistura dos materiais constituintes da matriz de alto desempenho na betoneira, seguido da produção da espuma pré-formada em equipamento específico e incorporação desta à matriz de alto desempenho para a obtenção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho. Na figura 1, observa-se o diagrama esquemático do processo utilizado na produção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho.

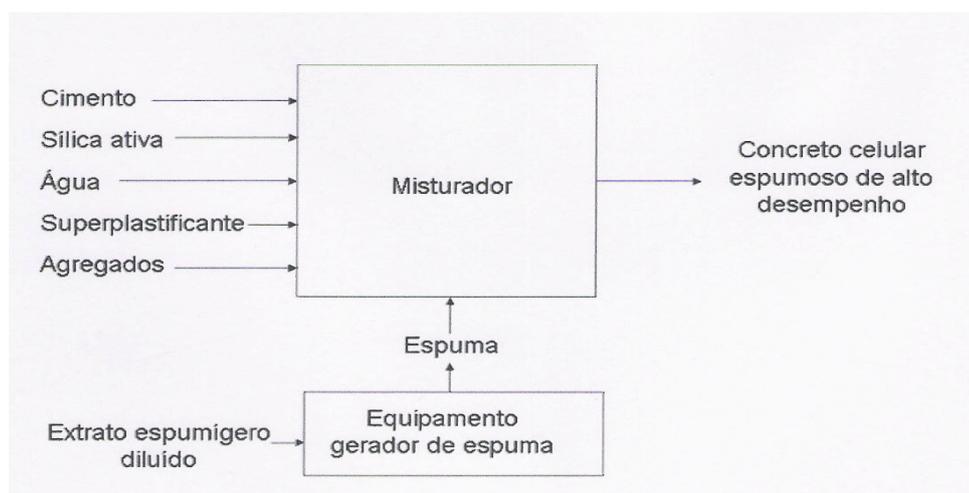


Figura 1 – Diagrama esquemático da produção do concreto celular espumoso de alto desempenho

Após a produção realizava-se a moldagem e o adensamento dos corpos-de-prova em mesa vibratória. A moldagem foi feita em três camadas, onde cada camada foi vibrada por meio minuto. Deve-se ressaltar que esse procedimento de adensamento foi adotado com o objetivo de evitar problemas relacionados com a heterogeneidade entre os corpos-de-prova.

Depois de adensados os corpos-de-prova foram cobertos com placas de vidro e após vinte e quatro horas desmoldados e levados para câmara úmida para o processo de cura, onde permaneceram até a idade de ensaio.

Para a avaliação da matriz de alto desempenho e dos concretos celulares espumosos de alto desempenho, as propriedades mecânicas ensaiadas e as normas técnicas em que os ensaios se basearam foram:

- Resistência à compressão: NBR - 5739;

- Resistência à tração por compressão diametral: NBR - 7222;
- Retração: NBR – 8490;
- Ultra-som: NBR – 8802.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise dos resultados foi realizada comparando-se o desempenho dos concretos celulares espumosos de alto desempenho (amostras 1, 2, 4 e 5) com a matriz de alto desempenho (amostra 3) que não apresenta espuma em sua composição, com o objetivo de verificar a perda de desempenho nas propriedades analisadas com o aumento do teor de espuma incorporado.

Além disso, a análise dos resultados se estendeu a comparação do comportamento dos concretos celulares espumosos de alto desempenho ao comportamento apresentado pelos concretos celulares espumosos convencionais.

4.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos concretos celulares varia com os seguintes fatores: consumo de cimento, relação água/cimento, idade, tipo de cura, processo de produção, características do agente espumífero, volume de espuma e quantidade e granulometria dos agregados (FREITAS, 2004). Entretanto, como no presente trabalho, com exceção do teor de espuma, todos os outros fatores foram os mesmos para todos os concretos, a análise recairá na variação da resistência à compressão com relação ao teor de espuma. Os resultados podem ser observados no gráfico 2 a seguir.

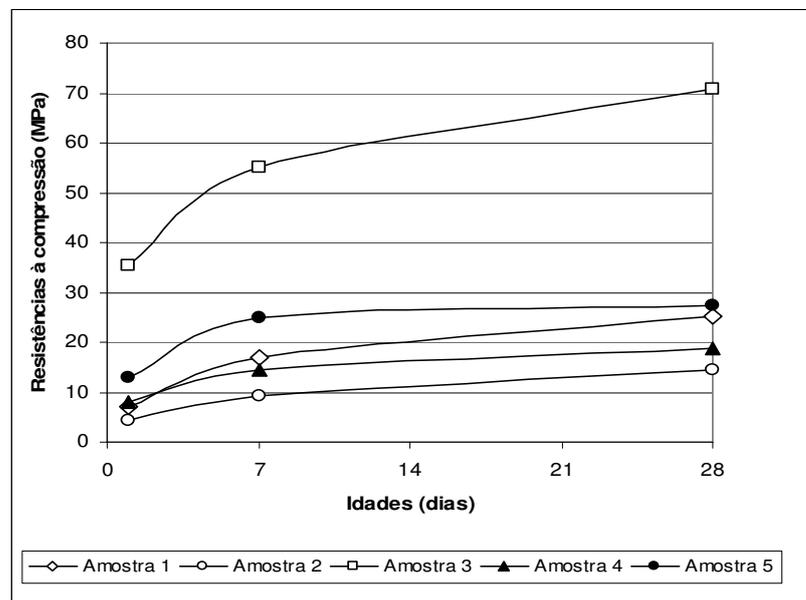


Gráfico 2 – Resultados de resistência à compressão

Os resultados obtidos mostraram-se coerentes na medida em que concretos com maiores teores de espuma e, portanto, menores massas unitárias, apresentaram menores resistências à compressão. A redução na resistência à compressão a medida em que se aumentaram os teores de espuma pode ser explicada pelo conseqüente aumento dos poros no interior do concreto. Além disso, o volume, a forma e a dimensão dos poros influenciam na distribuição das tensões e, portanto, na concentração de tensões no interior do concreto (NEVILLE, 1997). Essa influência na distribuição das tensões no interior do

material devido a presença dos poros está diretamente relacionada com a redução da resistência à compressão nos concretos celulares espumosos.

Com base nos resultados verificou-se que a resistência à compressão e o teor de espuma incorporado variam na razão inversa, pois na medida em que se aumentou o teor de espuma nos concretos celulares espumosos de alto desempenho, obteve-se a redução em suas resistências à compressão.

Analisando os resultados de resistência à compressão das amostras, verificou-se um decréscimo variando de 2 a 8 vezes na resistência dos concretos celulares espumosos de alto desempenho em comparação a resistência à compressão da amostra 3 que não apresenta espuma em sua composição.

Verificou-se que em estudos realizados anteriormente em concretos celulares espumosos, os valores de resistência à compressão obtidos para massa unitárias de 1760 e 1920 kg/m³ foram de 18,3 e 23,3 MPa respectivamente (FREITAS, 2004). No presente trabalho para massas unitárias de valores de 1720 e 2009 kg/m³ foram encontradas resistências à compressão de 14,51 e 27,52 MPa.

Sendo assim, constatou-se que o emprego da tecnologia de produção de concretos de alto desempenho na produção do concreto celular espumoso de alto desempenho, proporcionou a melhoria das resistências à compressão. Cabe ressaltar que essa melhoria ocorreu em razão das características mecânicas apresentadas pela matriz de alto desempenho que serviu como base para a produção dos concretos celulares espumosos de alto desempenho.

Quanto à evolução da resistência, esta se mostrou mais acentuada do primeiro até o sétimo dia e foi mais gradual nas idades subsequentes, em função do tipo de cimento empregado na produção dos concretos.

4.2 Resistência à tração

Os valores de resistência à tração por compressão diametral (Tabela 4) também variaram em função do teor de espuma incorporado aos concretos.

A maior resistência à tração foi apresentada pela Amostra 3 (matriz de alto desempenho) que não apresenta espuma em sua composição e a menor pela Amostra 2, concreto celular espumoso de alto desempenho com maior teor de espuma. A partir dos resultados constatou-se que o aumento do teor de espuma tem como consequências a redução da massa unitária e a redução da resistência à tração dos concretos celulares espumosos de alto desempenho. Sendo assim, constatou-se que a resistência à tração dos concretos variaram de forma inversa com o aumento quantidade de espuma.

A redução da resistência à tração dos concretos celulares espumosos de alto desempenho ocorrida na medida em que se aumentou o teor de espuma dos mesmos está relacionada com o consequente aumento da quantidade de poros assim como ocorreu na resistência à compressão.

Tabela 4 – Resultados de resistência à tração

Concretos	Resistência à tração média	Relação entre resistência à tração /resistência à compressão
	(MPa)	(%)
Amostra 1	1,90	7,54
Amostra 2	0,75	5,16
Amostra 3	6,45	9,09
Amostra 4	1,68	8,93
Amostra 5	2,34	8,50

Alguns autores afirmam que a resistência à tração dos concretos celulares convencionais varia, normalmente, entre 20 e 35% da resistência à compressão (TEZUKO, 1989 e LEGATISKI, 1978, apud FREITAS, 2004).

Avaliando os resultados constatou-se que a resistência à tração dos concretos celulares espumosos de alto desempenho variaram de 5,16 a 8,93% de suas respectivas resistências à compressão, bem inferiores as porcentagem definidas por TEZUKO e por LEGATISKI.

As porcentagens encontradas estão mais próximas das obtidas nos concretos convencionais onde a resistência à tração é de aproximadamente 10% da resistência à compressão. Acredita-se que isso tenha ocorrido em virtude de as bolhas de ar incorporadas provocarem um efeito de arco no comportamento do concreto. Como a matriz é de alta resistência à compressão, faz com que o material apresente uma resistência à compressão bem maior que à tração, considerando que na tração não age o mecanismo de arco.

Isso explica porque nos concretos leves convencionais a resistência à tração é proporcionalmente maior que nos concretos celulares de alto desempenho. Apesar disso, a resistência tração nominal do concreto celular espumoso de alto desempenho é superior a dos concretos celulares espumosos convencionais.

4.3 Retração linear

A retração linear das amostras de concreto estudadas é demonstrada na tabela 5. Estas apresentaram uma variação bastante acentuada em função do teor de espuma incorporado. A Amostra 3 (matriz de alto desempenho), que não tem espuma em sua composição apresentou os menores valores de retração, enquanto a Amostra 2 que tem maior teor de espuma apresentou os valores mais elevados de retração. O aumento nos valores de retração acompanhou o aumento do teor de espuma adicionado ao concreto e a conseqüente redução da massa unitária, ou seja, apresentaram uma variação direta.

Tabela 5 – Resultados de retração linear

Concretos	Retração entre idades (dias) (mm)					
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Amostra 1	0,012	0,012	0,012	0,012	0,019	0,019
Amostra 2	0,013	0,014	0,015	0,018	0,019	0,020
Amostra 3	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002
Amostra 4	0,012	0,013	0,017	0,017	0,018	0,019
Amostra 5	0,010	0,010	0,013	0,013	0,015	0,015

Comparando os resultados de retração aos 7 dias da Amostra 3 (matriz de alto desempenho) com os concretos celulares espumosos de alto desempenho, verificou-se que a Amostra 3 apresentou os seguintes valores: 9,5 vezes menor que a Amostra 1, 10 vezes menor que o Amostra 2, 9,5 vezes menor que o Amostra 4 e 7,5 vezes menor que o Amostra 5.

Além disso, ao analisar os resultados de retração linear verificou-se que a diferença de valores entre a Amostra 3 e as demais amostras de concretos celulares espumosos de alto desempenho foi menor nos primeiros dias e aumentou até o sétimo dia.

Todas as amostras apresentaram valores de retração inferiores ao valor de 0,067 mm encontrado por TEZUKO (1989) para a idade de 7 dias em concretos celulares espumosos. Cabe ressaltar que, o valor 0,067 foi obtido relacionando o valor de retração obtido por TEZUKO de 0,22 mm/m com o comprimento do corpo-de-prova utilizado no ensaio para estudo da retração dos concretos (285 mm). Acredita-se que os valores encontrados nos resultados foram inferiores ao estabelecido por TEZUKO devido a duas razões. A primeira está relacionada com o refinamento da microestrutura da matriz de alto desempenho e a segunda com a presença da areia de britagem entre os materiais constituintes da mistura.

Isso pode ser explicado porque apesar de o pó-de-brita possuir um elevado teor de material pulverulento, o que contribui para o aumento da retração, este material também apresenta uma boa composição granulométrica contendo aproximadamente 50% dos grãos retidos nas peneiras 2,4 e 1,2 mm. Acredita-se que este fator, assim como a baixa relação água cimento da matriz de alto desempenho possam ter contribuído para restringir a retração.

4.4 Ultra-som

Com base na distância e no tempo percorrido pela onda sonora, é possível calcular a velocidade de transmissão da onda. Em um material que apresente descontinuidades internas, a propagação da onda é mais lenta que em um material íntegro.

Os valores obtidos no ensaio de ultra-som (Gráfico 3) demonstraram que a velocidade de passagem da onda sonora pelo concreto é influenciada pela massa unitária do mesmo e, conseqüentemente, pelo teor de espuma incorporado em cada amostra. As maiores velocidades foram encontradas na Amostra 3 e a menores na Amostra 2. Com base nos resultados verificou-se que o aumento do teor de espuma provoca a redução da massa unitária e a redução da velocidade de passagem do som através dos concretos celulares espumosos de alto desempenho, por causa do aumento de sua porosidade. Assim, verifica-se que a velocidade de passagem da onda e o teor de espuma apresentam razão inversa.

Esse fato é devido a presença de maior quantidade de poros nos concretos celulares espumosos de alto desempenho que podem ser considerados como descontinuidades internas do material. A medida em que se aumenta o teor de espuma e, conseqüentemente, a quantidade de poros, aumentam-se a descontinuidade do material reduzindo a velocidade de passagem da onda sonora.

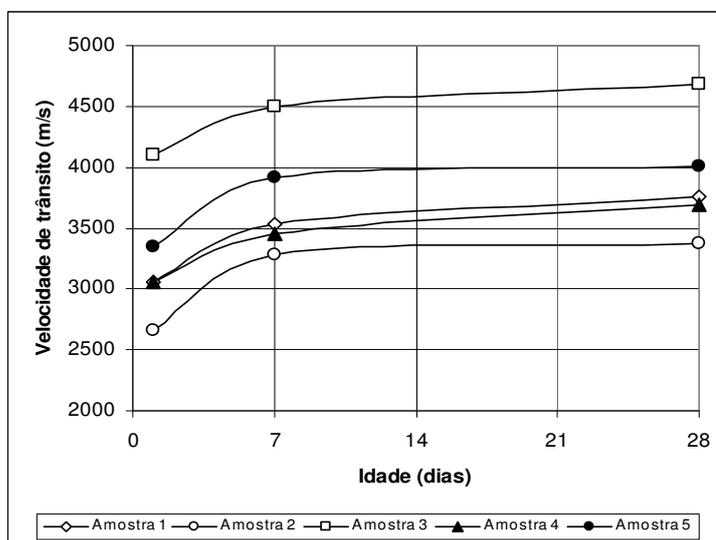


Gráfico 3 – Resultados do ensaio de ultra-som

Comparando os resultados de ultra-som para 28 dias da Amostra 3 (matriz de alto desempenho) com as demais amostras, verificou-se que Amostra 3 apresentou os seguintes valores: 24% maior que a Amostra 1, 38% maior que a Amostra 2, 27% maior que o Amostra 4 e 16% maior que o Amostra 5.

Através da análise dos resultados verifica-se que a diferença apresentada entre as velocidades de passagem entre a Amostra 3 (matriz de alto desempenho) e as demais amostras (concretos de celulares de alto desempenho) diminuiriam com o decorrer do tempo, confirmando os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os concretos celulares espumosos de alto desempenho desenvolvidos e caracterizados no presente trabalho apresentaram de maneira geral um bom desempenho nas propriedades estudadas, podendo ser considerado como um aperfeiçoamento do concreto celular com espuma. Esse aperfeiçoamento é verificado ao comparar o desempenho de ambos materiais, sendo que o concreto celular espumoso de alto desempenho sempre apresentou um comportamento superior ao do concreto celular.

As propriedades mecânicas sofreram grande influência com a variação do teor relativo de espuma. O aumento do teor relativo de espuma causou a redução em maior ou menor grau no desempenho dos concretos no estado endurecido dependendo da propriedade analisada. Essa variação no desempenho

está diretamente relacionada com a quantidade de vazios incorporadas ao concreto através da adição de espuma. Isso pode ser explicado porque nas propriedades de resistência à compressão e resistência à tração sabe-se que os poros influenciam na distribuição e concentração de tensões no interior do material. Com exceção da Amostra 2, todos os outros concretos celulares espumosos apresentaram resistências à compressão superiores ao limite de 20 MPa, estabelecido em função do material poder ser aplicado com finalidade estrutural.

Apesar de não ter sido realizada a determinação da porosidade das amostras, o ensaio de ultra-som foi sensível à incorporação de poros mediante a utilização de espuma. Esse fato está relacionado com a redução da velocidade de passagem da onda sonora em materiais que apresentem descontinuidades internas, como é o caso dos poros presentes no concreto celular espumoso de alto desempenho.

De acordo com os resultados apresentados é possível afirmar que os concretos celulares espumosos de alto desempenho apresentam grande potencial para serem aplicados na produção de pré-moldados, de painéis pré-fabricados e placas para vedação, concretagens de paredes “in loco” e para fins estruturais.

Para finalizar, conclui-se que só será possível a obtenção de um concreto celular espumoso de alto desempenho, quando este for produzido a partir de uma matriz de alto desempenho, pois conforme pode ser observado a incorporação de espuma levou a perda de desempenho nas propriedades analisadas.

6 REFERÊNCIAS

CORTELASSI, E. M. **Avaliação do Desempenho de Concretos Celulares Espumosos de Alto Desempenho**. 2005. Dissertação de Mestrado. UEL, Londrina.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos Leves: O concreto Celular Espumoso**. 1986. Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos Celulares Espumosos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

FREITAS, I. **Produção e propriedades físicas e mecânicas do concreto celular espumoso**. 2004. Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo.

PETRUCCI, E. G. R. **Concretos de Cimento Portland**. 5 ed. São Paulo: GLOBO, 1978.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.

TEIXEIRA FILHO, F. J. Consideração sobre algumas propriedades dos concretos celulares espumosos. **3º Simpósio Ibero Americano sobre Técnicas Construtiva para Habitação de Interesse Social**. São Paulo, 1992.

TEZUKO, Y. Concretos especiais. **Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil**. Florianópolis, 1989.

TORALLES-CARBONARI, B. M. **Estudio Parametrico de Variables y Componentes Relativos a la Dosificación y Producción de Hormigón de Altas Prestaciones**. 1996. Tesis Doctorado. UPC, Catallunã.