

Study about concrete with recycled expanded polystyrene

Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado

C. H. R. CARVALHO ^a

carlos.carvalho@ufu.br

<https://orcid.org/0000-0003-1226-687X>

L. A. C. MOTTA ^a

lacastro@ufu.br

<https://orcid.org/0000-0002-1597-2297>

Abstract

This work studied the properties of lightweight concretes with addition of expanded polystyrene (EPS) for structural walls applications. EPS for being a material produced on a large scale and has low density, produces a large volume of waste. These residues are not reused, especially in Brazil. Given that, in order to perform a comparison of the performance of concrete with adding of EPS in pearls and recycled, it have been manufactured five concrete types, a control without addition of EPS and four other samples with two different percentages of EPS. The mechanical (compressive strength) and physical (density, voids content, absorption by immersion and capillarity) properties were evaluated, and tests were carried out to evaluate the thermal performance of the mixtures studied. The concretes with EPS presented compressive strength less than the reference concrete, however, the absorption for capillarity and thermal properties was better in concretes with EPS. It is concluded that it is feasible to replace the EPS in pearls by recycled EPS, due to the close results found.

Keywords: EPS concrete, recycled EPS, structural walls, thermal behavior.

Resumo

O concreto leve obtido com adição de partículas de poliestireno expandido (EPS) é conhecido como concreto com EPS. Estudaram-se neste trabalho as propriedades de concretos com adição de EPS para uso em paredes estruturais. O EPS por ser um material produzido em larga escala e possuir baixa densidade, produz um grande volume de resíduos. Esses resíduos são pouco reaproveitados, principalmente no Brasil. Diante disso, a fim de realizar uma comparação do desempenho do concreto com a adição de EPS em pérolas e o reciclado, foram fabricados cinco tipos de concretos, o primeiro de controle sem a adição de EPS e os outros quatro com duas porcentagens diferentes de EPS. Foram avaliadas as propriedades mecânicas (resistência à compressão), físicas (massa específica, índice de vazios, absorção por imersão e por capilaridade) e foram realizados testes para avaliar o desempenho térmico das misturas estudadas. Os concretos com EPS apresentaram resistência à compressão inferior ao concreto referência, entretanto, o desempenho quanto à absorção por capilaridade e às propriedades térmicas foi melhor nos concretos com EPS. Conclui-se também que é viável a substituição do EPS em pérolas por EPS reciclado, devido às proximidades nos resultados encontrados.

Palavras-chave: concreto com EPS, EPS reciclado, paredes estruturais, comportamento térmico.

^a Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Uberlândia, Brasil.

1. Introdução

Usualmente, utiliza-se a designação concreto leve para identificar concretos com estrutura porosa, geralmente à base de ligantes hidráulicos, com massa específica inferior à dos concretos tradicionais, que podem ser obtidos com a utilização de agregados leves, com a incorporação de ar (concretos celulares) ou sem finos [1]. Além das questões técnicas e econômicas, a escolha dos materiais de construção também está baseada nos aspectos ambientais da aplicação e do uso dos materiais. Nesse sentido, o concreto leve pode possibilitar, com sua menor massa específica, a diminuição da armadura, da energia utilizada no transporte e no processo construtivo. E devido a sua capacidade de isolamento térmico, diminuir o consumo de energia no condicionamento térmico das edificações, quando utilizado nas vedações externas [2]. Ainda sobre esta questão ambiental, os materiais industrializados além de mobilizar vastos recursos financeiros e consumir uma enorme quantidade de energia, geram grande quantidade de resíduos que em grande maioria não são reaproveitados, causando permanente poluição, além do consumo de matérias primas não renováveis.

De acordo com Leite [3], várias são as fontes que geram resíduos na construção civil. Por exemplo, o desperdício de materiais que poderiam ser reutilizados na construção civil, mas saem das obras em forma de entulho e contribuem no volume de resíduos gerados. Daí a importância de se buscar novos materiais para a fabricação do concreto a partir de agregados não convencionais, principalmente os recicláveis.

O poliestireno expandido (EPS), pode se enquadrar entre esses novos materiais para a substituição do agregado na confecção do concreto, além dos materiais tradicionais: cimento, agregados minerais e água, podendo conter aditivos e outras adições, fibras inclusive. Como o EPS é formado por aproximadamente 95% a 98% de ar, ele funciona praticamente como agente incorporador de vazios.

De acordo com Monteiro [4], no Brasil foram produzidas 55 mil toneladas de EPS no ano de 2007 e outras 2 mil toneladas foram importadas com equipamentos eletrônicos e diferentes bens trazidos do exterior. Já em 2008 foram produzidos no Brasil cerca de 62,9 mil toneladas de Poliestireno Expandido (EPS) e aproximadamente 20 mil toneladas de Poliestireno Extrudado (XPS), que é um isolante térmico geralmente apresentado em placas leves e rígidas, totalizando cerca de 82,9 mil toneladas. Desse total, estima-se que retornaram ao processo produtivo com destino à reciclagem cerca de 7 mil toneladas, ou seja, apenas 8,4% de tudo o que foi produzido. Estimativas apontam que o EPS, leve cerca de centenas de anos para ser totalmente degradado.

Existem estudos com o uso de EPS na forma de pérolas, como agregado para o concreto leve. Parant e Le Roy [5] formularam e otimizaram concretos com poliestireno expandido obtendo diferentes densidades e resistências. Os resultados mostraram que a resistência à compressão do concreto com EPS aumenta com a diminuição do diâmetro das esferas de EPS para uma mesma densidade. Por exemplo, concretos com densidade de 1000 kg/m³ e esferas de 7 mm, mostraram diminuição de 35% na resistência à compressão em comparação com a mesma mistura, mas com esferas de poliestireno de 1 mm.

Essa tendência de quanto menor o diâmetro das esferas de EPS, maior será a resistência à compressão de concretos com EPS de mesma densidade, foi confirmada por Ganesh Babu e Saradhi Babu [6], em um estudo de concretos com densidades variando de 1440 kg/m³ a 1850 kg/m³ e com esferas de EPS de diâmetros de 4,75 mm e 6,3 mm.

No entanto, o EPS também pode ser reutilizado a partir de resíduos descartados, reduzindo o impacto ambiental do descarte deste polímero de difícil decomposição e ainda melhorando as propriedades de materiais novos ou modificados como o concreto leve, por exemplo.

O objetivo deste trabalho é produzir misturas de concreto com esferas de EPS e partículas de EPS reciclado a fim de avaliar e comparar suas propriedades no estado fresco e endurecido para aplicação em paredes estruturais de edificações. Foram avaliadas propriedades mecânicas, físicas e térmicas.

2. Materiais e programa experimental

Em conformidade com os objetivos propostos nesta pesquisa, implementou-se a metodologia baseada em programa experimental, em laboratório, com placas simulando as paredes de concreto. Essas placas foram desenvolvidas de tal forma que os resultados obtidos pudessem fornecer informações acerca da caracterização, do ponto de vista de desempenho térmico, de paredes de concreto com EPS.

O EPS utilizado foi de dois tipos, pérolas e reciclado. Nos concretos do tipo A, foi substituído todo o volume de agregado graúdo (brita) pelo o EPS. Já nos concretos do tipo B, além da substituição adotada no concreto tipo A, houve incremento de EPS em substituição parcial ao volume correspondente de agregado miúdo (areia). Os resultados foram comparados aos de concretos sem substituição da brita por EPS.

Verificou-se a influência da adição do EPS em algumas propriedades do concreto, utilizando-se corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Foram ensaiadas amostras no estado endurecido para a determinação da resistência à compressão, absorção total e massa específica e absorção capilar. Foram avaliadas a consistência e massa específica no estado fresco. Todo o processo foi realizado em laboratório de acordo com as normas brasileira em vigor.

O programa experimental desenvolvido foi dividido nas seguintes etapas: escolha e caracterização dos materiais constituintes das misturas, escolhas dos traços, moldagem dos corpos de prova e de placas de concreto, ensaios de caracterização do concreto nos estados fresco e endurecido e ensaio térmico.

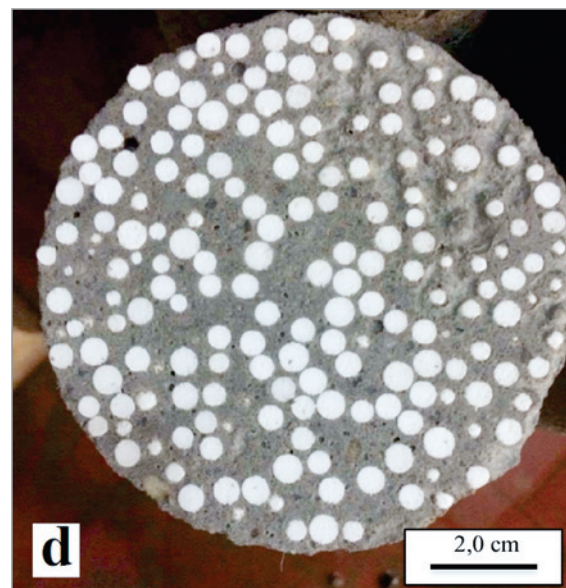
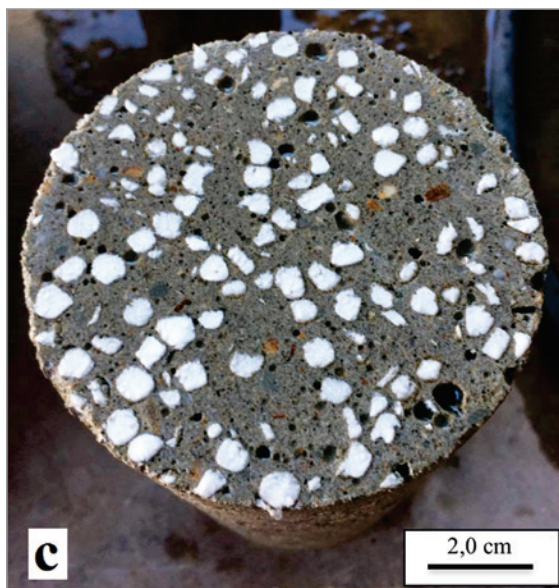
2.1 Materiais utilizados

Os materiais que constituem os concretos produzidos estão discriminados a seguir:

- Cimento CP V ARI;
- Agregado Miúdo (Areia lavada média, módulo de finura 2,42 e massa específica 2,66 g/cm³);
- Agregado Graúdo (Pedra britada de rocha basalto, zona granulométrica 4,75/12,5mm, massa específica 2,88 g/cm³);

Tabela 1Consumo dos materiais para 1 m³ dos diferentes concretos estudados

Materiais concretos	Cimento CP V (kg)	Areia média (kg)	Brita (kg)	EPS (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
CR	500	1050	1210	0	200	5
CAP	500	1050	0	6,5	200	5
CAR	500	1050	0	5,2	200	5
CBP	500	864	0	7,7	200	5
CBR	500	864	0	6,0	200	5

**Figura 1**

Partículas de EPS reciclado (1a) partículas de EPS em perolas (1b), concreto com EPS reciclado (1c) e concreto com esferas de EPS (1d)

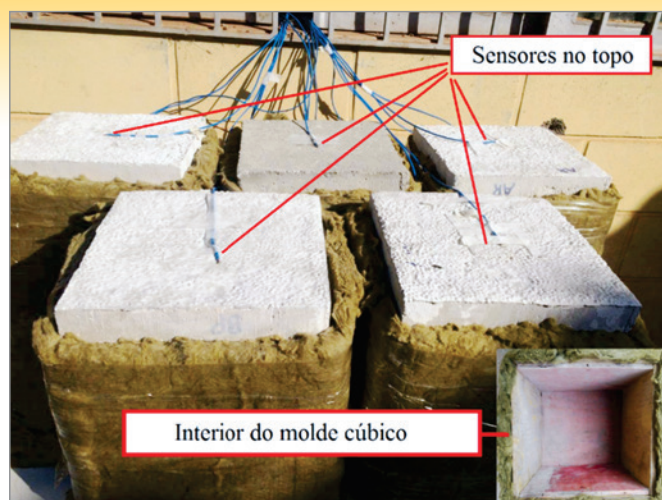


Figura 2

Sistema de moldes cúbicos com placas de concreto com EPS para os testes térmicos

- Água proveniente da rede de abastecimento público.
- Aditivo Hiperplastificante MasterGlenium 3400 da BASF;
- EPS reciclado e em pérolas.

O cimento CPV foi utilizado por ser o tipo de cimento mais usado nas construções com paredes de concreto, devido à necessidade de rápida desforma. Tanto as pérolas quanto as partículas de EPS reciclado possuem diâmetro variando de 1,2 a 4,8 mm. Os dois tipos de EPS possuem massas específicas ligeiramente diferentes, o EPS em pérolas possui massa específica de 15,5 kg/m³ e o reciclado 12,3 kg/m³.

O EPS reciclado foi adquirido triturado, porém como a granulometria da maioria de suas partículas estavam maiores que o determinado para a confecção dos concretos, ou seja, maiores que 4,8 mm, foi então realizada nova trituração e posteriormente foi realizado peneiramento para se obter partículas com tamanho variando entre 1,2 e 4,8 mm. Já o EPS em pérolas foi adquirido em papelarias e não foi preciso de peneiramento, pois suas partículas já se encontravam na faixa desejada entre 1,2 a 4,8 mm.

2.2 Produção dos concretos

A Tabela 1 apresenta o consumo dos materiais dos concretos utilizados nessa pesquisa. Os teores de EPS, substituindo o volume de brita e/ou areia, foram adotados com base em pesquisas já realizadas [7] visando dosagens aplicáveis para paredes de concreto, com abatimento acima de 160 mm.

A seguir apresenta-se a nomenclatura adotada para cada tipo de concreto:

- CR: Concreto de Referência;
- CAP: Concreto tipo A, com adição de pérolas de EPS, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita);
- CAR: Concreto tipo A, com adição de EPS reciclado, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita);
- CBP: Concreto tipo B, com incremento de pérolas de EPS, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita) e ao volume de 70 litros, que representa 17,7% do volume original de agregado miúdo (areia);
- CBR: Concreto tipo B, com adição de EPS reciclado, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita) e ao volume de 70 litros, que representa 17,7% do volume original de agregado miúdo (areia).

Apesar do EPS ser um material de baixa densidade, ou seja, leve, ele apresentou fácil manuseio e boa dispersão no concreto, portanto o concreto com EPS pode ser produzido de maneira convencional em betoneira.

Na Figura 1 pode-se observar as partículas de EPS reciclado (1a) e em pérolas (1b), bem como os concretos por elas produzidos, concreto com EPS reciclado (1c) e concreto com esferas de EPS (1d).

2.3 Ensaios do concreto no estado fresco

Após a mistura inicial foram executados os ensaios de consistência pelo abatimento do troco de cone, para a avaliação da consistência e o ensaio para a determinação da massa específica no estado fresco, segundo as normas ABNT NBR NM 67:1998 e ABNT NBR 9833:2008, respectivamente.

2.4 Ensaios do concreto no estado endurecido

Todos os ensaios foram realizados aos 28 dias com corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada tipo de concreto, curados imersos em água saturada com cal até o dia dos ensaios. Os concretos no estado endurecido foram ensaiados para determinação da resistência à compressão, massa específica e índice de vazios e absorção por imersão e capilaridade, segundo as normas ABNT NBR 5739:2007, ABNT NBR 9778:2005 e ABNT NBR 9779:2012, respectivamente.

2.5 Ensaio térmico

Para avaliar o desempenho térmico através do fluxo de calor será adaptado o ensaio proposto por Shadnia, et al. [8], foram produzidos cinco moldes cúbicos de compensado de madeira, com dimensões de 30 x 30 x 30 cm³. No topo de cada um dos cinco compartimentos foi colocada uma placa de (30 x 30 cm²), com 5 cm de espessura de todos os tipos de concreto, o de referência (CR), com EPS em pérolas (CAP e CBP) e reciclado (CAR e CBR), conforme mostra a Figura 2.

Os moldes cúbicos foram envolvidos com lã de rocha para isolamento

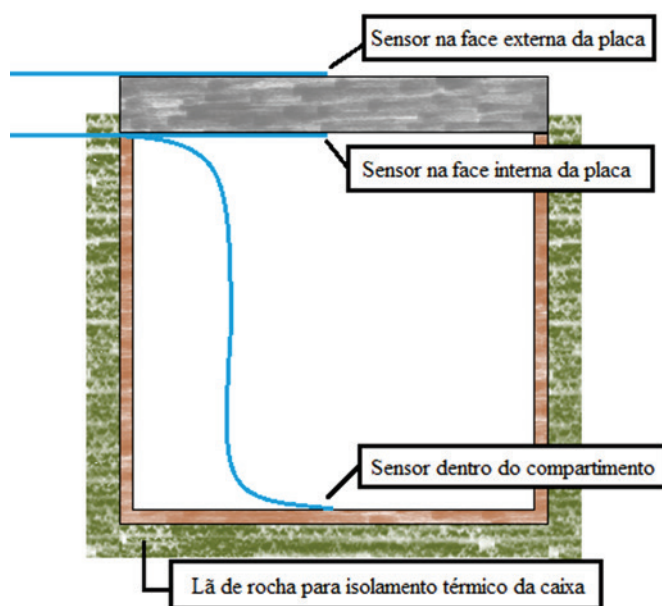


Figura 3

Seção transversal do esquema do ensaio térmico proposto

Tabela 2

Resultados de abatimento e massa específica no estado fresco

Propriedades concretos	Abatimento (mm)	Massa específica (g/cm ³)
CR	170	2,32
CAP	215	1,74
CAR	220	1,70
CBP	225	1,65
CBR	230	1,59

térmico dos mesmos. Por fim, três sensores de temperatura (termopares) foram instalados em cada um dos compartimentos, sendo um na face externa da placa, outro na face interna da placa de concreto e o último no interior do compartimento de madeira, conforme mostra a Figura 3.

As cinco amostras foram colocadas em um espaço sem sombras ou obstruções em um dia ensolarado. Após ligar todos os sensores a um sistema de aquisição de dados, as temperaturas foram registradas durante 24 horas com início às 6 h da manhã. As temperaturas foram medidas a cada 50 segundos e armazenadas num sistema de aquisição de dados.

Este procedimento teve como intuito analisar a diferença de calor entre os 3 termopares de cada amostra e avaliar o efeito do incremento do EPS nas misturas quanto à variação das temperaturas e condução do calor para o interior das caixas.

3. Resultados e discussões

3.1 Ensaios do concreto no estado fresco

Foi possível observar características importantes tais como homogeneidade da mistura; ausência de segregação ou de flutuação do EPS; ausência de exsudação na superfície e nas bordas da porção espalhada. Além do ensaio de abatimento, também foi feita a avaliação da massa específica do concreto no estado fresco, os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Verificou-se que quando se adiciona o poliestireno expandido no concreto, seja por meio de pérolas ou reciclado, o abatimento aumenta, o que pode ser explicado devido à substituição do EPS ter sido feita por volume de agregado, pois como o EPS não é um material higroscópico, ou seja, não absorve água, sobrou mais água livre no sistema o que por sua vez aumentou o abatimento. De acordo com Catoia [9] o concreto com EPS, sendo composto

Tabela 3

Valores médios e desvio padrão da resistência à compressão dos concretos estudados

Propriedade concretos	Resistência à compressão (MPa)
CR	23,16 (0,56)
CAP	15,07 (0,52)
CAR	14,04 (0,46)
CBP	12,88 (0,49)
CBR	11,38 (0,54)

por argamassa e pérolas de EPS, apresenta normalmente uma fluidez maior que um concreto convencional.

Em relação às massas específicas os concretos com EPS se mostraram obviamente mais leves que o concreto de referência, porém quando comparados entre si, os concretos com EPS em pérolas apresentaram massa específica ligeiramente superior às respectivas proporções de concreto com EPS reciclado, tal fato pode ser explicado, pois conforme já demonstrado a massa específica do EPS em pérolas é maior que a do EPS reciclado.

3.2 Ensaios do concreto no estado endurecido

3.2.1 Resistência à compressão

Conforme descrito anteriormente o ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 28 dias. Na Tabela 3 estão os resultados médios das resistências avaliadas.

Pode-se notar que o acréscimo do EPS contribuiu de maneira negativa para a resistência à compressão do concreto, os concretos com EPS em pérolas apresentaram uma resistência ligeiramente superior aos concretos com EPS reciclado, isso provavelmente deve-se ao fato do EPS em pérolas possuir uma estrutura mais rígida que o reciclado, comprovada pela sua maior massa específica. Os concretos do tipo A (CAP e CAR), apresentaram maior resistência em relação aos concretos do tipo B (CBP e CBR), o que era de se esperar, haja vista os concretos do tipo B apresentam um volume maior de EPS em relação ao tipo A.

Os concretos com EPS não atingiram a resistência de 20 MPa, mínima estabelecida pela ABNT NBR 6118:2014 para fins estruturais. No entanto, sabe-se que a solicitação máxima à compressão no concreto das residências unifamiliares construídas em paredes de concreto é inferior a 1 MPa. Além disso, deve ser possível dosar um concreto com EPS com resistência de 20 MPa, reduzindo-se o teor de EPS, ou ainda diminuindo a razão de água usada nos traços desenvolvidos já que a inserção de EPS melhorou a fluidez dos concretos no estado fresco.

3.2.2 Massa específica, absorção por imersão e índice de vazios

Os ensaios para a determinação da massa específica, absorção por imersão e índice de vazios foram realizados aos 28 dias. Os resultados obtidos são descritos na Tabela 4, em que se pode

Tabela 4

Valores médios e desvio padrão da absorção por imersão, índice de vazios e massa específica dos concretos estudados

Propriedades concretos	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm ³)
CR	8,83 (0,67)	17,66 (1,37)	2,24 (0,06)
CAP	16,30 (0,71)	25,56 (0,94)	1,66 (0,11)
CAR	15,30 (0,98)	24,14 (1,64)	1,62 (0,09)
CBP	18,16 (0,93)	27,34 (1,23)	1,56 (0,10)
CBR	13,98 (0,27)	21,21 (0,97)	1,50 (0,08)

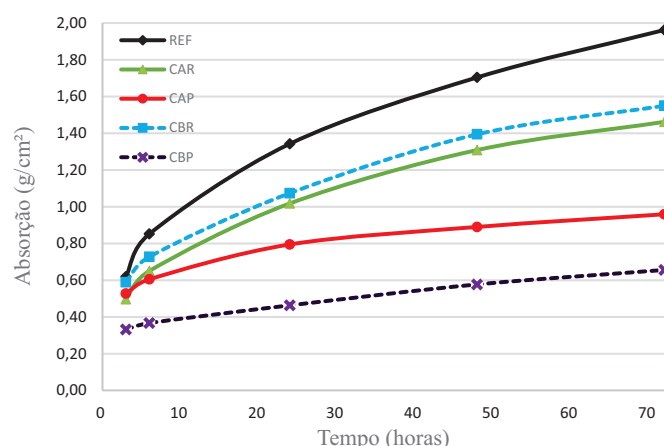


Figure 4
Absorção de água por capilaridade nos concretos estudados

notar que tanto a presença quanto o incremento do EPS aumentaram a absorção e o índice de vazios e reduziram a massa específica em relação ao concreto de referência.

Isso ocorreu devido à tendência da incorporação de mais ar durante a mistura ao se adicionar EPS em concretos. Isso aumentou consequentemente a absorção e a porosidade. Essa observação repetiu-se em todos os concretos com EPS, seja em pérolas ou reciclado. A adição do EPS em pérolas resultou em maior absorção e índice de vazios que os concretos com EPS reciclado, o concreto CBP apresentou a maior absorção de 18,16 % e o maior índice de vazios de 27,34%. Esse fato pode ser explicado devido aos concretos do tipo B possuírem uma maior quantidade de EPS em sua constituição. Os concretos com pérolas apresentaram maior índice de vazios, provavelmente devido ao seu formato esférico e

sua composição granulométrica uniforme o que pode ter desfavorecido o empacotamento das partículas.

Em relação às massas específicas os concretos demonstraram a mesma tendência dessa propriedade no estado fresco, ou seja, redução da massa específica com o incremento de EPS nas misturas, chegando a uma redução de 33%, onde todos os concretos com EPS podem ser classificados como leves de acordo com a ABNT NBR 8953:2015, que classifica um concreto como leve com massa específica inferior a 2,0 g/cm³.

3.2.3 Absorção por capilaridade

O ensaio para avaliação da absorção por capilaridade foi realizado aos 28 dias, os valores de absorção de água por capilaridade (C) obtidos após 3, 6, 24, 48 e 72 horas de imersão parcial encontram-se na Figura 4.

Contrário ao que foi constatado no ensaio de absorção por imersão, o concreto com maior absorção de água por capilaridade foi o concreto de referência e o concreto com menor absorção de água por capilaridade foi o concreto tipo B com pérolas (CBP). Observa-se de acordo com os resultados uma tendência do EPS, principalmente em teores maiores, provocarem uma diminuição da absorção capilar. Avaliando a absorção 72 horas após a imersão parcial em água a adição do EPS em pérolas demonstrou maior eficácia na redução da absorção por capilaridade, o concreto CBP apresentou uma redução de 66,3% e o concreto CAP apresentou uma diminuição de 51,0%, ambos em relação ao concreto de referência. Já os concretos com EPS reciclado apresentaram uma redução considerável, porém menores que os concretos com EPS em pérolas, o concreto CAR apresentou uma redução de 25,5% e o concreto CBR apresentou uma redução de 20,9% em relação ao concreto de referência.

Após a última pesagem os corpos de prova foram rompidos para a medição da altura da ascensão capilar interna. Segue os valores

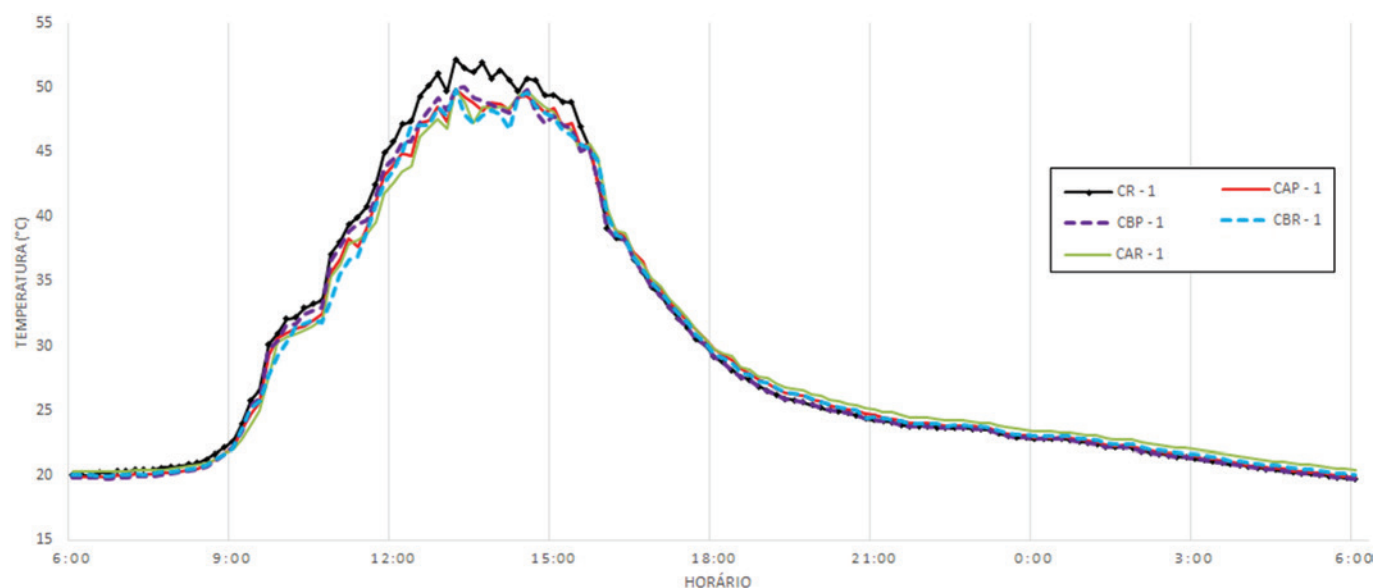


Figure 5
Temperaturas na face externa das placas

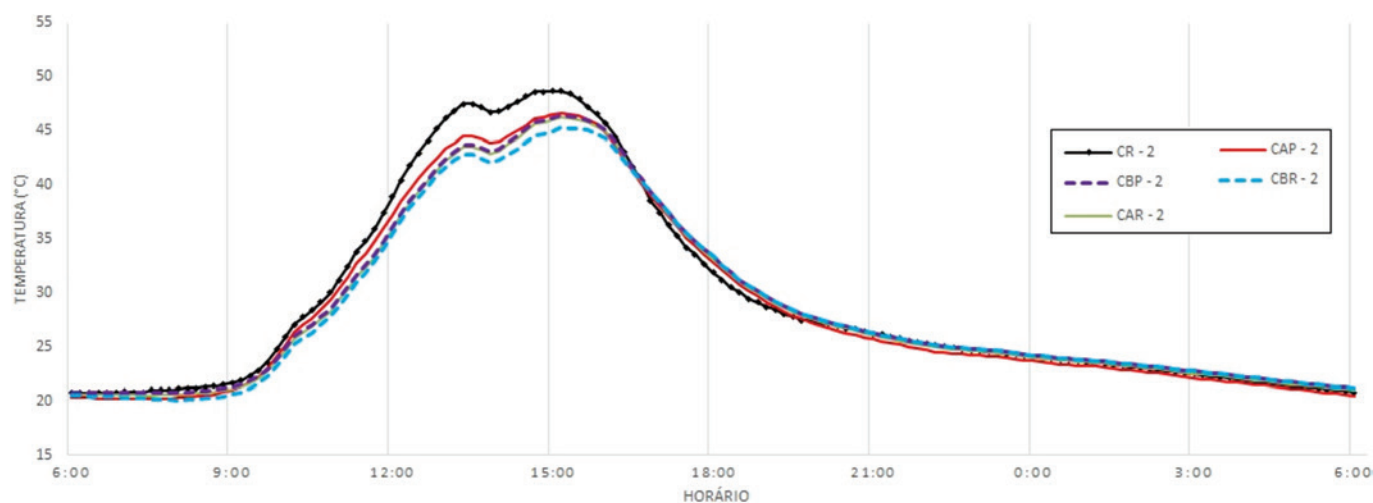


Figura 6
Temperaturas na face interna das placas

de ascensão capilar do maior para o menor valor: CR (9,52cm), CBR (8,12cm), CAR (7,46cm), CAP (6,82cm), CBP (4,27cm). De acordo com Helene [10] a absorção capilar é o meio mais comum e intenso de penetração de agentes agressivos no concreto. Ainda de acordo com o mesmo autor a absorção capilar é um dos fatores mais difíceis de serem controlados pelo fato do concreto ser um material hidrófilo (possui grande afinidade com água). Quanto menor o diâmetro dos poros capilares, maiores serão as pressões capilares desenvolvidas e consequentemente maior a profundidade de concreto atingida pela água absorvida. Em contrapartida quanto maior o diâmetro desses poros capilares menor a profundidade, porém maior a quantidade de água absorvida, contudo, um item de maior importância que o diâmetro desses capilares é a interconectividade entre eles. A presença do EPS aumentou a porosidade e a absorção total

dos concretos, mas por outro lado parece ter gerado poros maiores e/ou diminuído a interconexão entre esses poros, reduzindo-se assim as pressões capilares e consequentemente a absorção por capilaridade.

De modo a minimizar o efeito da absorção, Mostardeiro [11] e Barin [12] sugerem que a absorção capilar pode ser controlada com o uso de incorporadores de ar, que permitem interromper a comunicação entre os poros pela incorporação de bolhas em seu interior, reduzindo a capilaridade do conjunto. De acordo com Catoia [9], o EPS é responsável pela redução da massa específica do concreto e atua como agregado graúdo e como incorporador de ar. Portanto, como o EPS é impermeável e atua como um agente incorporador de ar no concreto, pode-se deduzir que essas bolhas de ar no interior das misturas interrompem a comunicação entre os poros capilares.

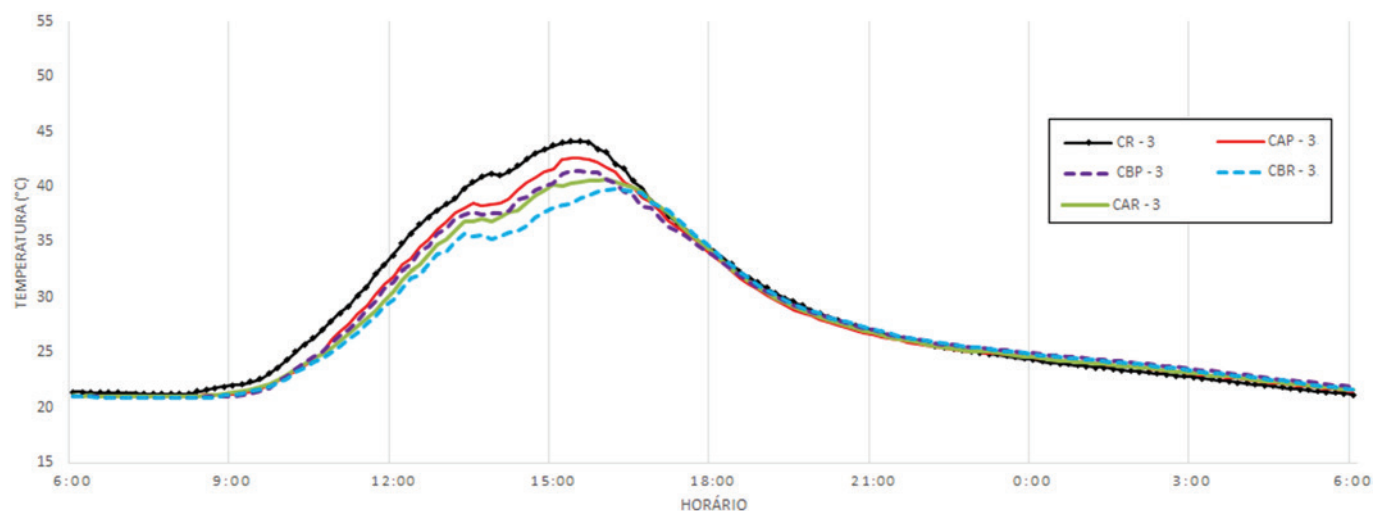


Figura 7
Temperaturas no interior dos compartimentos

Tabela 5

Correlação entre a maior temperatura e o seu respectivo horário

Sensor	Temperatura máx. (°C)	Horário
CR - 1	52,16	1:10 PM
CR - 2	48,71	3:00 PM
CR - 3	44,13	3:30 PM
CAP - 1	49,86	1:10 PM
CAP - 2	46,60	3:10 PM
CAP - 3	42,60	3:30 PM
CAR - 1	49,92	1:10 PM
CAR - 2	46,21	3:10 PM
CAR - 3	40,62	4:00 PM
CBP - 1	49,98	1:20 PM
CBP - 2	46,41	3:10 PM
CBP - 3	41,40	3:30 PM
CBR - 1	49,84	1:10 PM
CBR - 2	45,31	3:10 PM
CBR - 3	39,75	4:10 PM

3.2.4 Ensaio térmico

Para facilitar a compreensão e análise dos resultados o sensor da face externa da placa foi denominado (1), o sensor da face interna da placa denominado (2) e o sensor do interior do compartimento (3). Para exemplificar, o sensor da face externa da placa do concreto de referência será denominado CR-1.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram, respectivamente, as temperaturas na face externa da placa, na face interna da placa e do ar no interior do compartimento, medidas durante 24 horas para as cinco amostras. A Figura 6 indica que a temperatura na face interna das placas contendo EPS começa a subir alguns minutos mais tarde do que a da placa do concreto de referência. Durante o período de aumento da temperatura das 8h às 15h as temperaturas da superfície do fundo das placas com EPS ficaram em média de 1,6°C a 2,9°C mais baixas que a placa não contendo EPS, sendo que, a maior diferença de temperatura aconteceu 13h40min, entre o sensor da face interna da placa do concreto de referência (CR-2) e o sensor do concreto tipo B com EPS reciclado (CBR-2) no valor de 4,7°C. Obviamente, o tempo de atraso na elevação da temperatura para os concretos do tipo B são maiores do que dos concretos do tipo A. Também pode ser visto a partir da Figura 6 que após os picos de temperaturas, o tempo que a temperatura começa a cair é levemente retardado com o acréscimo de EPS. Assim, o EPS exerce bem a função de atenuar a variação da temperatura interna em função da mudança de temperatura no exterior do compartimento. As temperaturas medidas no interior dos compartimentos mostram tendências semelhantes aos das faces internas das placas, como pode ser observado na Figura 7.

Durante o período de aumento da temperatura das 8h às 15h a temperatura do ar dentro dos compartimentos contendo EPS ficou em média de 1,8°C e 3,6 °C mais baixa do que a do compartimento do concreto de referência, sendo que, a maior diferença de temperatura aconteceu às 14h30min entre o sensor do interior

do compartimento do concreto de referência (CR-3) e o sensor interno do concreto tipo B com EPS reciclado (CBR-3) no valor de 6,0°C. Com relação ao tempo de atraso na elevação da temperatura os concretos com EPS reciclado (CAR e CBR) se mostraram mais eficazes do que os concretos com EPS em pérolas (CAP e CBP), principalmente o CBR que exibiu um atraso de até 60 minutos em relação ao concreto de referência.

A Tabela 5 mostra uma correlação entre a temperatura máxima e em qual horário ela ocorreu para cada um dos sensores analisados. Analisando os resultados da Tabela 6 fica bem nítido como a incorporação do EPS influenciou na diminuição da temperatura e no atraso da ascensão da mesma, principalmente no concreto tipo B com EPS reciclado (CBR).

4. Conclusões

A adição do EPS resultou em queda da resistência à compressão dos concretos estudados, chegando a aproximadamente 40% de redução com a substituição total do agregado graúdo basáltico por EPS reciclado, comparado ao concreto de referência. Com a substituição total da brita e parte (17,7% em volume) do agregado miúdo por EPS essa redução atinge 50%.

A absorção por imersão e índice de vazios aumentaram em todas as misturas com a adição de EPS. No entanto, a absorção por capilaridade reduziu com a substituição dos agregados minerais por EPS, atingindo uma redução de 66,33% em relação ao concreto de referência, provavelmente devido a tendência do EPS, principalmente em maiores teores, proporcionar ao concreto poros maiores, além de diminuir a interconexão entre os poros capilares, reduzindo-se assim as pressões capilares e consequentemente a absorção por capilaridade.

Quanto às propriedades térmicas todos os concretos com EPS demonstraram ser mais eficazes no isolamento térmico do que o concreto de referência, com diminuição da temperatura nas faces das placas e no interior dos compartimentos e maior atraso da ascensão da temperatura. O melhor desempenho foi do concreto com maior teor de EPS reciclado (CBR), que apresentou uma queda de até 6,0°C no interior do compartimento comparado ao concreto de referência.

A partir dessa pesquisa, propõe-se estudos de dosagem com outros teores e dimensões de partículas de EPS para melhorar a resistência mecânica e análises da microestrutura do concreto com adição de EPS, avaliando, dentre outros, a distribuição e as dimensões dos poros a fim de entender melhor o comportamento desses materiais.

5. Referências

- [1] ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura. 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- [2] ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. Concreto estrutural leve. In: ISAIA, G. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações, vol. 2. 793p á 1579p. 2005.

- [3] LEITE, B. M. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001 Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- [4] MONTEIRO, M. A. et al. Plano de gerenciamento integrado de resíduos de isopor – PGIRI. Belo Horizonte - Minas Gerais. Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2011. 52 p.
- [5] PARANT, E.; LE ROY, R. Optimisation des bétons de densité inférieure à 1. Tech. rep., Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1999.
- [6] BABU, K.G., BABU, D.S.: Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cem. Concr. Res.* 2249, 1–8, 2002.
- [7] OZÓRIO, B. P. M. Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas. 2016. 154p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- [8] SHADNIA, R. et al. Experimental study of geopolymer mortar with incorporated PCM. *Construction and building materials*, v. 84, p. 95–102, 2015.
- [9] CATOIA, T. Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: Caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. Tese de doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.
- [10] HELENE, P. R. do L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- [11] MOSTARDEIRO, C. Z. Absorção capilar e resistividade elétrica de concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico. Santa Maria, 2011, 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- [12] BARIN, D. S. Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico. Santa Maria, 2008, 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.