

Potencial uso de pérolas de EPS em argamassas para a produção de placas cimentícias

Use potential of EPS pearls in mortars for the production of cementitious panel

Max Weverton Moreira da Silva¹, Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro¹

¹Universidade Federal do Pará, Campus Tucuruí, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE). PPGINDE, Rodovia BR 422, km 13, Canteiro de Obras UHE, Antigo galpão da Camargo Corrêa, CEP: 68464-000, Tucuruí, PA, Brasil
e-mail: max_weverton19@hotmail.com, lucianapc@ufpa.br

RESUMO

Os Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE) são as partes da edificação habitacional que a limitam verticalmente e delimitam seus ambientes, como as fachadas e paredes ou divisórias internas. O uso de vedações com menor densidade que a da alvenaria proporciona uma redução da massa deste subsistema, reduzindo a demanda por agregados e aglomerantes, além de reduzir a carga exercida sobre a estrutura, o que possibilita uma otimização do seu dimensionamento. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de placas cimentícias com poliestireno expandido (EPS) para aplicação em sistemas de vedação vertical interno. Para isso, foram produzidas argamassas com o traço 1:3 (cimento:areia), com teores de incorporação de poliestireno expandido de 0%, 10%, 20% e 30% em relação ao volume total de materiais. As argamassas foram caracterizadas no estado fresco, através da determinação da densidade de massa e índice de consistência. No estado endurecido as propriedades mensuradas foram: densidade de massa, resistência à compressão e à tração e, módulo de elasticidade. Após o conhecimento das características das argamassas, foram produzidas as placas cimentícias, reproduzindo o mesmo traço nos corpos de provas. As placas foram testadas quanto a densidade aparente, absorção de água, permeabilidade de água e resistência à flexão. Os resultados deste trabalho demonstraram que as placas cimentícias com a incorporação de até 20% de EPS apresentam características técnicas para aplicação em sistemas de vedação vertical internas.

Palavras-chave: placas cimentícias, poliestireno expandido, argamassa, concreto.

ABSTRACT

The Internal and External Vertical Panel Systems are the parts of the residential building that limit it vertically and delimit its environments, such as facades and walls or internal partitions. The use of seals with lower density than masonry provides a reduction in the mass of this subsystem, reducing the demand for aggregates and binders, in addition to reducing the load on the structure, which allows for optimization of its design. The objective of this work is to evaluate the behavior of cementitious slabs with expanded polystyrene (EPS) for application in internal vertical sealing systems. For this, mortars with a 1:3 line (cement: sand) were produced, with levels of incorporation of expanded polystyrene of 0%, 10%, 20% and 30% in relation to the total volume of materials. Mortars were characterized in the fresh state, through the determination of mass density and consistency index, and in the hardened state, for knowledge of the density properties in the hardened state, resistance to compression and traction, and modulus of elasticity. After knowing the characteristics of the mortars, cementitious slabs were produced, reproducing the same trace in the specimens. The plates were tested for bulk density, water absorption, water permeability and flexural strength. The results of this work demonstrated that the cementitious slabs with the incorporation of up to 20% of EPS present technical characteristics for application in internal vertical sealing systems.

Keywords: panel cement, expanded polystyrene, mortar, concrete.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil brasileira possui uma cultura construtiva inclinada para o uso da alvenaria tradicional como principal elemento de vedação vertical, seja interna ou externa [1, 2]. Por ser um método

artesanal, a construção através de alvenaria de blocos é caracterizada por gerar elevados índices de desperdício de materiais e por haver recorrente necessidade de retrabalho embutido [3, 4].

MASS e TAVARES [5] relatam que a ineficiência do setor da construção em alvenaria de blocos tradicionais pode gerar índices de perda de até 30%. Sendo assim, as questões relacionadas a desperdícios na construção, atrasos e a incompatibilidade entre projeto e execução são problemas frequentes na indústria da construção e uma solução possível para estes são a implantação de alternativas de racionalização da produção [6]. Além desses pontos, a reavaliação das tecnologias construtivas é justificada pelo impacto que a extração das materiais primas destinadas a alimentar o setor da construção vem exercendo sobre o planeta, assim como pelo beneficiamento destes materiais na produção dos gases do efeito estufa [1].

A ABNT NBR 15575-4 [7] define os Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE) como sendo as partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e paredes ou divisórias internas. Nesse sentido, o uso de vedações com menor densidade que a da alvenaria proporciona uma redução da massa deste subsistema, reduzindo a demanda por agregados e aglomerantes, além de reduzir a carga exercida sobre a estrutura, o que possibilita uma otimização do seu dimensionamento.

Os sistemas de vedação vertical compostos de placas cimentícias possuem aproximadamente 25% da massa de uma alvenaria tradicional constituída por blocos de concreto para a execução de uma mesma área [1]. Uma habitação construída em alvenaria cerâmico pode ter seu peso em até 2,7 vezes maior que uma habitação construída em *Light Steel Frame* [5].

As condições de habitabilidade que uma vedação vertical pode proporcionar ao ambiente estão diretamente relacionadas com as características de desempenho apresentado pelo conjunto que constitui esta vedação, tais como requisitos térmicos, acústicos, e estanqueidade ao ar e a água [1]. Nesse aspecto, o uso de sistemas pré-fabricados se torna uma técnica promissora e eficiente.

Um exemplo desse processo é o *Steel Frame*, criado nos Estados Unidos, na década de 1940, que consiste em um método construtivo baseado na ideia de construção seca. Esse sistema é estruturado por perfis metálicos, os quais são revestidos interna e externamente por placas, que podem ser de gesso acartonado ou cimentícias. No Brasil, o sistema vem ganhando espaço, sendo aplicado em construções de edificações de padrões de renda média e alta, assim como em construção de galpões industriais e *shoppings* [8].

Dentre as vantagens do uso desse método construtivo, estão a rapidez na construção; a facilidade de montagem, manuseio e transporte, devido a leveza dos elementos; a grande flexibilidade no projeto arquitetônico; a construção a seco, o que reduz grande parte do desperdício nos canteiros; os elementos construtivos são produzidos industrialmente, onde a matéria prima, os processos, e suas características técnicas passam por rigorosos controles de qualidade [9].

O uso de placas cimentícias, comercialmente, é condicionado ao atendimento de especificações técnicas contidas em regulamentos, como a norma de desempenho das edificações habitacionais, ABNT NBR 15575-4 [7], que trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas. Outra regulamentação que condiciona o uso das placas é a ABNT NBR 15498 [10] que trata, especificamente, de placas de fibrocimento trazendo os requisitos e métodos de ensaios. Essas normas especificam os parâmetros a serem seguidos, principalmente no tocante a geometria da peça, resistência à flexão, permeabilidade, estanqueidade, conforto térmico e acústico, resistência ao fogo, entre outros.

Um dos materiais que vem ganhando espaço na construção civil é o poliestireno expandido (EPS), por ser um ótimo isolante térmico, possuir uma elevada durabilidade, ser um material com elevada dilatação térmica, de baixo custo, ser impermeável e que possui facilidade de manuseio com relação a diversos materiais de construção [11, 12]. Comercialmente, tem seu registro no ano de 1952, quando foi exibido na feira de comércio de Düsseldorf [13]. E, desde então, ganha espaço nos mais diversos setores da indústria. Atualmente, na indústria da construção se tem usado o EPS em lajes, como material de enchimento, em painéis monolíticos, juntas de dilatação, fôrmas e telhas termoacústicas, assim como em peças para forro, por exemplo [14, 15].

O estudo da aplicação de materiais alternativos na construção é de grande relevância, principalmente por ser um setor que gera significativos impactos ambientais. Desse modo, esta pesquisa propõe a incorporação do EPS em argamassas para a produção de placas cimentícias.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento de placas cimentícias com poliestireno expandido (EPS) para aplicação em sistemas de vedação vertical interno. Foi realizada a caracterização da argamassa com EPS, a partir de ensaios para análise das propriedades mecânicas e, posteriormente, foram produzidas placas cimentícias a partir dessas argamassas, testadas a partir de ensaios de caracterização, de acordo com as especificações das respectivas normas técnicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento Portland CP II-E 32

O aglomerante usado na pesquisa possui requisitos estabelecidos através da ABNT NBR 16697 [16]. Esse material apresenta características conforme a tabela 1, fornecida pelos fabricantes.

Tabela 1: Caracterização do Cimento Portland CP II-E 32.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA – TEOR (% EM MASSA)		
CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	NBR 16697 (ABNT, 2018)	CP II-E 32
Resíduo insolúvel (RI)	≤ 5	2,2
Perda ao fogo (PF)	≤ 8,5	8,0
Óxido de magnésio (MgO)	---	4,4
Trióxido de enxofre (SO ₃)	≤ 4,5	2,4
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA		
CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	NBR 16697 (ABNT, 2018)	CP II-E 32
Finura Resíduo na peneira 75 µm	≤ 12,0	0,4*
Blaine (cm ² /g)	≥ 2600	4594*
Tempo de início de pega (min.)	≥ 60	231
Massa Específica (g/cm ³)	---	3,01*
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5	0
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		
CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	NBR 16697 (ABNT, 2018)	CP II-E 32
3 dias	10	20,2
7 dias	20	26,2
28 dias	32	34,9

(*) Dados obtidos pelos autores

2.1.2 Aditivo

Utilizou-se um superplastificante de alto desempenho (reductor de água) à base de polímeros policarboxilato, disponível no estado líquido, solúvel em água e com a cor marrom. Sua densidade, é de 1,09 g/cm³ e dosagem recomendada entre 0,2 e 5% em relação ao peso do cimento. Os teores de aditivos adotados na pesquisa variaram entre 0,14% e 0,87%.

A escolha deste tipo baseou-se pelas características fornecidas, além do fato de que as pesquisas publicadas na área, usaram também esse tipo aditivo [17-20].

2.1.3 EPS

Nesta pesquisa, as pérolas de EPS foram incorporadas em substituição à massa da areia, por compensação de volume, uma vez que as areias apresentam densidade diferente, não é possível realizar uma substituição direta.

Por ser um material com densidade muito baixa e por não haver normas específicas para a caracterização deste, foram necessárias adaptações as normas para determinar as características físicas do EPS. A densidade do material foi determinada com o auxílio de uma proveta de 500ml, uma balança de precisão (com precisão de 0,1g) e água. O teste foi realizado a partir de um adaptação do ensaio da ABNT NBR 6508 [21], que determina a densidade de grãos dos agregados com o auxílio de um picnômetro. A densidade obtida das pérolas de EPS foi de 15kg/m³ e usada como parâmetro para obtenção das quantidades desse material nos traços. As pérolas de EPS utilizadas possuem diâmetro de até de 3mm, medidas com o auxílio de equipamentos computacionais de tratamento de imagens.

2.1.4 Agregado miúdo natural

O Agregado miúdo é de origem quartzosa, disponível na região metropolitana de Belém. Trata-se de uma areia fina, com distribuição granulométrica definida conforme ABNT NBR NM 248 [22], se enquadrando fora dos limites da zona utilizável da ABNT NBR 7211 [23] (Figura 1). Tem massa específica de 2,66g/cm³,

definida pela ABNT NBR 52 [24], e massa unitária de $1,64\text{g/cm}^3$, definida pela ABNT NBR 45 [25]. Possui dimensão máxima característica de $600\ \mu\text{m}$ e módulo de finura de 2,20. Desse modo, é uma areia que pode proporcionar um melhor acabamento superficial do produto desta pesquisa.

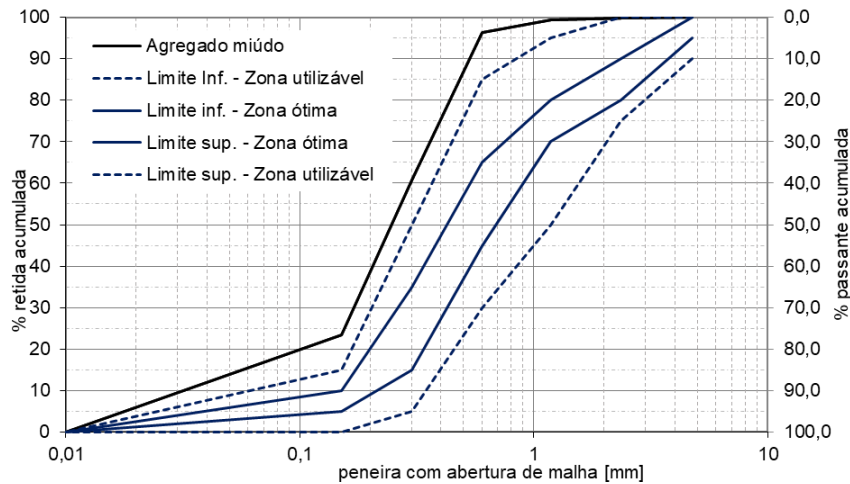


Figura 1: Composição granulométrica do agregado miúdo natural, conforme ABNT NBR NM 248 [22].

2.1.5 Água

A água utilizada na pesquisa, para a produção das argamassas e, conseqüentemente, das placas, foi a disponível na rede de abastecimento de água da Universidade Federal do Pará. Trata-se de uma água que atende os requisitos de potabilidade recomendados pela NBR 15900-1 [26].

2.1.6 Tela de polietileno de alta densidade

Esta escolha tomou por base o trabalho realizado por AZEVEDO [27], que comparou o uso de telas de polietileno de alta densidade e telas metálicas na produção de placas cimentícias e concluiu que as telas plásticas obtiveram melhores resultados em termos de resistência à flexão nos painéis. Ele argumentou que o fato de as telas metálicas serem compostas por fios entrelaçados provocam criação de pontos frágeis nos nós.

Desse modo, foi usada tela de polietileno de alta densidade hexagonal com malha de $\frac{1}{2}$ polegada. Além do mais, esta tela se mostra vantajosa em relação a metálica pelo fato de não sofrer influência de agentes degradadores, como o CO_2 .

2.2 Programa experimental

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas: caracterização das argamassas e caracterização das placas cimentícias. Na caracterização das argamassas, foram realizados testes para verificar o efeito da incorporação de pérolas sobre as propriedades no estado fresco e endurecido. A caracterização das placas cimentícias, por sua vez, consistiu em verificar se estas placas com incorporação de EPS alcançariam os valores mínimos de resistência à flexão requeridos na norma ABNT NBR 15498 [10], assim como testá-las quanto à densidade aparente, absorção de água e permeabilidade.

Os dados experimentais passaram por tratamentos estatísticos, que possibilitaram uma maior confiabilidade na análise dos resultados. Para cada formulação foram tratadas, três repetições, as quais se aplicaram algumas ferramentas estatísticas, como média, desvio padrão, coeficiente de variação, Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey, com o auxílio do software *Action Stat 3.7*.

2.2.1 Caracterização da argamassa com EPS

A preparação da argamassa foi realizada com o uso de uma argamassadeira. O processo executivo da mistura das argamassas ocorreu conforme Figura 2. Esse procedimento seguiu a recomendação da ABNT NBR 16541 [28], com uma adaptação na ordem de inclusão dos materiais, devido à baixa densidade do EPS.

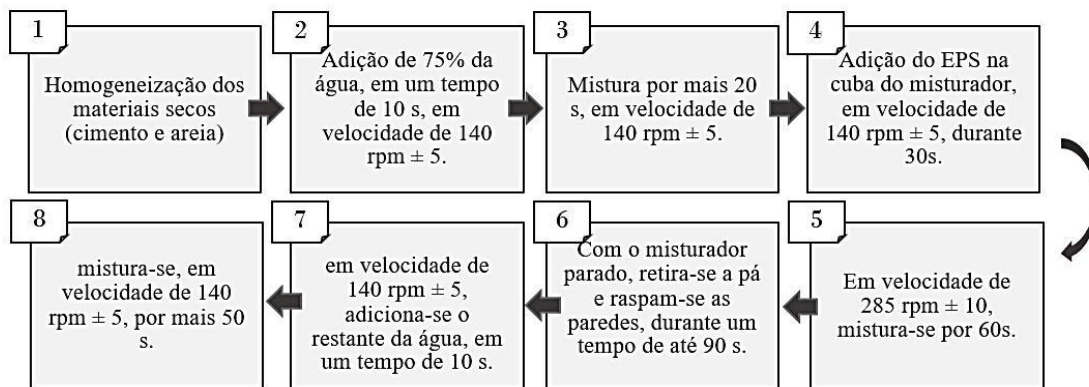


Figura 2: Fluxograma de atividades para a mistura das argamassas.

Para a definição da quantidade de água e o uso do superplastificante, a produção foi iniciada pelo traço com maior teor de EPS e menor teor de finos, A_{30EPS}. No proporcionamento dos materiais manteve-se fixo o volume de cimento e água. E, para a substituição da areia definiu-se inicialmente o coeficiente de compensação dividindo a massa específica do EPS pela massa específica pela areia natural. Define-se então a massa de areia a ser substituída em cada proporção (10, 20 ou 30%) e multiplica-se pelo coeficiente de compensação, mantendo-se fixo, desta forma, o volume total da mistura. Na dosagem desse traço, a água foi adicionada até que se atingisse a consistência de 240 ±10mm. Para os demais, fora mantida a mesma relação água/cimento e a manutenção da consistência promovida através do uso do aditivo superplastificante. Na Tabela 02 encontram-se os traços, em massa, moldados neste programa experimental.

Tabela 2: Composição de traços em massa dos materiais.

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	EPS	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	SUPERPLASTIFICANTE
A _{0EPS}	1	3,00	0,000000	0,43	0,87%
A _{10EPS}	1	2,15	0,002968	0,43	0,15%
A _{20EPS}	1	1,98	0,006562	0,43	0,15%
A _{30EPS}	1	1,47	0,009842	0,43	0%

Após a moldagem, os corpos de prova se mantiveram em temperatura ambiente nas primeiras 24 horas, cobertos por plástico. Posteriormente, foram desmoldados e mantidos em cura submersa sob temperatura ambiente, onde permaneceram até a data de ensaio aos 28 dias.

O conhecimento das propriedades da argamassa no estado endurecido foi necessário para poder correlacioná-las com os resultados obtidos nos experimentos das placas cimentícias. Para isso, uma série de ensaios foram realizadas nesta etapa do trabalho. No estado endurecido as argamassas foram avaliadas quanto à: densidade de massa no estado endurecido NBR 13280 [29], resistência à compressão ABNT NBR 13279 [30], módulo de elasticidade NBR 15630 [31] e resistência à tração na flexão ABNT NBR 13279 [30].

2.2.2 Produção das placas cimentícias

Para a moldagem das placas, foi realizada uma adaptação do método de AZEVEDO [27]. Desse modo, os corpos de prova foram moldados manualmente, com o auxílio da mesa de consistência, para auxiliar no adensamento da argamassa.

Nesse sentido, a argamassa foi disposta no molde em duas camadas. Após a primeira camada, foram aplicadas 10 quedas na mesa. Logo em seguida, colocou-se a tela sobre a argamassa e, finalmente, aplicou-se a última camada de argamassa, aplicados mais 10 quedas na mesa de consistência. O acabamento superficial fora realizado através de uma régua metálica e auxiliada através de uma espátula de aço.

Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos com plástico, a fim de evitar a perda de água da argamassa para o ambiente. Posterior a isso, os corpos foram submetidos à temperatura ambiente durante 24 horas, tempo ao qual foi possível a desforma sem que ocasionasse danos as placas. Logo em seguida, foi rea-

lizada a desforma e os espécimes foram submetidos a cura submersa, até completarem a idade de 28 dias.

As placas foram avaliadas quanto à: resistência à flexão, densidade aparente, absorção e permeabilidade de água, conforme procedimentos da ABNT NBR 15498 [10]. Foram usados corpos de prova quadrados, com dimensões de 250mm x 250mm x 15mm, para os ensaios de resistência à flexão, densidade aparente e absorção de água, e corpos com dimensões de 500mm x 600mm x 15mm, para o teste de permeabilidade.

Para o ensaio de resistência à flexão, as placas foram mantidas por 3 dias à temperatura de 24°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) e umidade relativa de 50% ($\pm 20\%$), para que alcançassem a condição de equilíbrio. Após os testes, as placas foram classificadas de acordo com a classe B.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da argamassa com EPS

Os resultados dos testes referentes à caracterização da argamassa com EPS são apresentados neste subitem. A média aritmética e o desvio padrão foram obtidos através da análise de três corpos de prova, na idade de 28 dias. Os resultados foram tratados estatisticamente, através da Análise de Variância (ANOVA) e do teste de Tukey, com auxílio do software *Action Stat 3.7*.

3.1.1 Densidade de massa no estado endurecido

Os resultados do ensaio de densidade de massa no estado endurecido estão apresentados na Figura 3. A incorporação de EPS na matriz cimentícia possibilitou a redução da sua densidade de massa, o que pode ser vantajoso para situações em que se almeja a redução do peso próprio de sistemas construtivo tanto por questões técnicas quanto por questões econômicas. Os resultados refletem o comportamento outrora evidenciado por FERRÁNDIZ-MAS e GARCÍA-ALCOCEL [17] e por VAN *et al.*, [20], uma vez que apresentaram o EPS como responsável pela redução significativa da densidade de massa no estado endurecido.

Nesse sentido, foi possível obter misturas com redução da densidade da argamassa em até 19%, no caso do traço $A_{30\text{EPS}}$, em comparação ao traço controle $A_{0\text{EPS}}$. Nos demais casos, a redução foi de 4%, para o $A_{10\text{EPS}}$, e de 14%, para o $A_{20\text{EPS}}$, em comparação ao traço controle. A redução de densidade nas argamassas é uma característica inerente ao uso de material leve, este modifica não só a densidade, como também a plasticidade das misturas devido suas características físicas e morfológica. Apesar de se notar que aumento do teor de EPS leva à redução de peso das peças; as variações de densidade entre os maiores teores de substituição são menores que 5%, atribui-se este comportamento ao processo de mistura otimizado pela presença das pérolas, que levam a condições de deformabilidade e de empacotamentos similares.

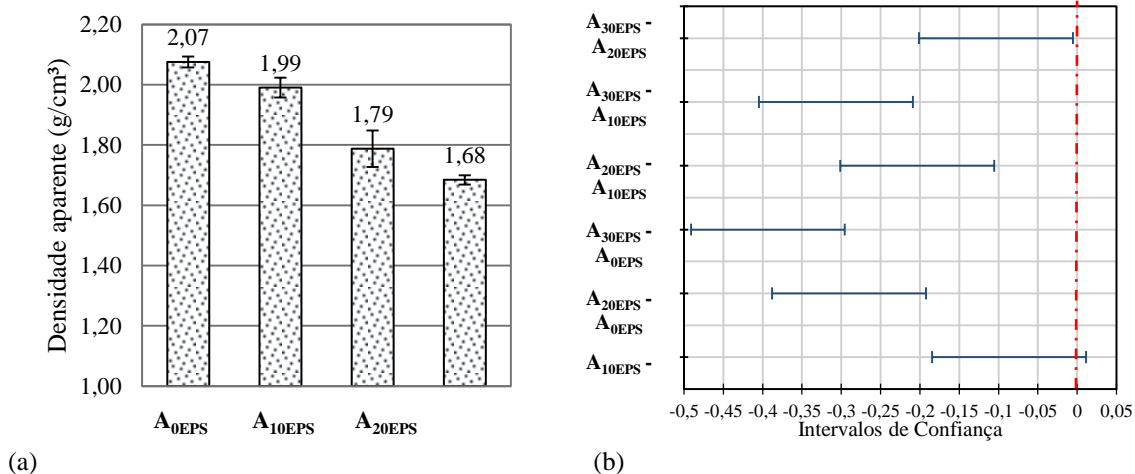


Figura 3: Densidade aparente de massa: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do teste de Tukey.

A realizar a análise de variância observou-se que o teor de EPS exerce influência significativa nos resultados de densidade de massa no estado endurecido, uma vez que se obteve um p-valor inferior a 0,05. (Tabela 3). Complementarmente a essa análise, o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, identifica que,

através das comparações múltiplas, os traços A_{10EPS} e A_{0EPS} não são diferentes estatisticamente (Figura 3b). Ou seja, com o proporcionamento adequado, é possível produzir placas com até 10% de substituição de EPS que apresentem características físicas similares as das misturas de referência.

Tabela 3: Análise de Variância para o teste de densidade no estado endurecido.

	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	0,29	3	0,0980972	70,07	0,00000438	SIM
Erro	0,01	8	0,0014			
Total	0,30	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ = efeito significativo.

3.1.2 Resistência à compressão

Os resultados dos testes mostram uma redução da resistência à compressão das argamassas à medida em que o percentual de EPS no compósito é aumentado (Figura 4a). Segundo SULONG *et al.* [32], a resistência à compressão de compósitos cimentícios com EPS é determinada, entre outros fatores, pela quantidade utilizada de material com natureza polimérica. Estes apresentam uma menor energia de ligação se comparado ao material que está se substituindo, e com isso aumenta-se a deformabilidade no sistema, e propaga-se a quantidade de defeitos devido a fragilidade de sua estrutura atômica. Como visto neste trabalho, o teor de incorporação do poliestireno tem influência na propriedade de densidade da argamassa. Assim, foi possível obter correlações entre a resistência à compressão, assim como outras propriedades mecânicas da argamassa, e sua respectiva densidade de massa.

Os autores LIU e CHEN [18], em um estudo sobre o efeito das dimensões do EPS sobre as propriedades mecânicas do concreto, mostraram um relação exponencial entre a resistência à compressão e a densidade do concreto. Nesse sentido, foi possível expressar um modelo matemático que representasse o comportamento entre as propriedades de resistência à compressão e densidade, com um coeficiente de correlação de 86,22% (Figura 1a).

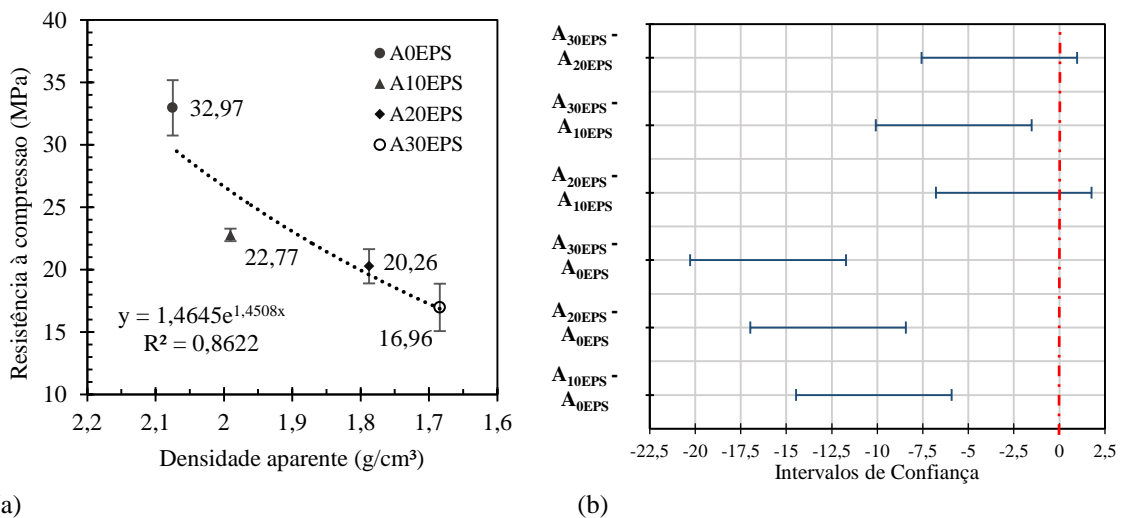


Figura 4: Resistência à compressão: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do Teste de Tukey.

Como apresentado na Figura 4a, as argamassas do traço controle, A_{0EPS} , atingiram uma resistência à compressão média de 32,97 MPa, com um desvio padrão de 2,22 MPa. O traço A_{10EPS} obteve uma resistência média de 22,77MPa e desvio padrão de 0,50MPa, o que representa uma redução de 31%, em relação ao traço controle. Para a família A_{20EPS} , a resistência à compressão atingiu o valor médio de 20,26MPa e desvio padrão de 1,38, o que indicou uma queda foi de 39%, em relação ao A_{0EPS} . Por sua vez, a família A_{30EPS} , apresentou uma resistência de 16,96 e desvio padrão de 1,90MPa, com uma redução de aproximadamente 49%, em relação ao traço controle.

A Análise de Variância mostra que existe diferença significativa entre os tratamentos para este experimento, uma vez que o P-valor, resultou em um valor inferior a 5% (Tabela 4). Por sua vez, o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, demonstrou que há diferença significativa entre a maioria dos tratamentos. Estatisticamente, não houve diferença entre os tratamentos A_{30EPS} e A_{20EPS}, assim como entre os traços A_{20EPS} e A_{10EPS}, mostrados na Figura 4b. Com isso, percebe-se que em termos de resistência não é possível alcançar com o EPS valores similares aos obtidos pela mistura controle, mantendo fixo o proporcionamento das misturas. Tem-se, no entanto, uma redução, que aumenta com o aumento do teor e que é explicada, pelos defeitos microestruturais ocasionados pela presença do EPS.

Tabela 4: Análise de Variância para o teste de resistência à compressão.

	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	429,13	3	143,04	53,51	0,0000123	SIM
Erro	21,38	8	2,67			
Total	450,51	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Em suma, os resultados deste experimento corroboram os de pesquisas anteriores, uma vez que a resistência das argamassas leves reduziu conforme a aumento do teor de poliestireno expandido, assim como ocorre com a densidade (Figura 4,5) [28, 29]. Dentre outros fatores, isso ocorreu pelo fato de que o EPS tem natureza inerte, flexível e que não possui resistência mecânica, atuando de modo similar à vazios ao longo da matriz.

3.1.3 Resistência à tração na flexão

Os resultados do teste de resistência à tração na flexão estão apresentados na Figura 5. É possível notar que a incorporação de EPS nas matrizes cimentícias modificou significativamente os resultados de resistência à flexão. Nota-se que a tração na flexão é reduzida linearmente à medida em que se é incorporado EPS no compósito. Tal comportamento já era esperado, uma vez que outros autores constataram essa relação entre a densidade do compósito e a resistência à tração [12, 18, 28].

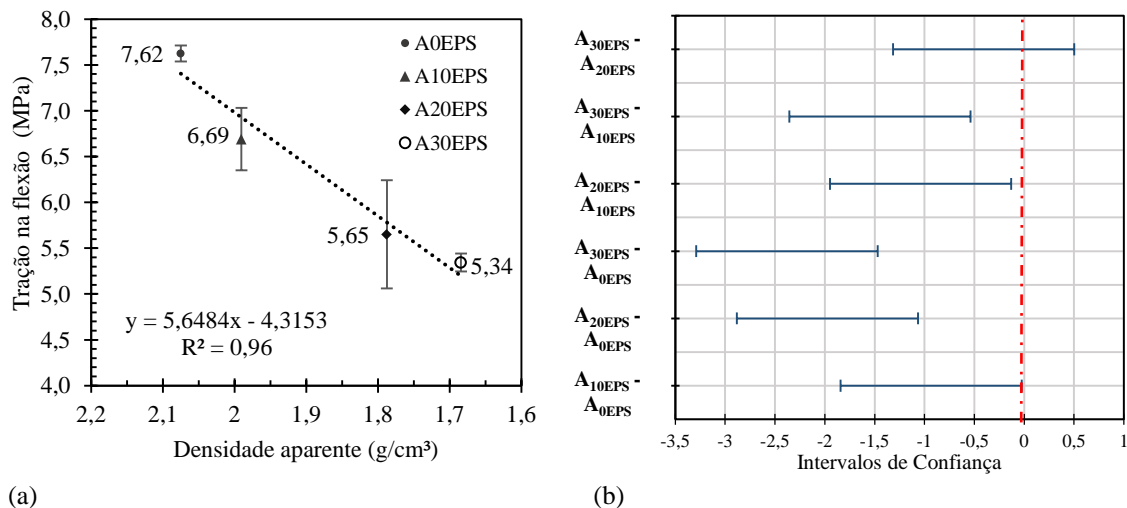


Figura 5: Resistência à tração na flexão: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do teste de Tukey.

Estatisticamente, a Análise de Variância mostra uma diferença significativa entre os tratamentos para este experimento, uma vez que o P-valor, resultou em um valor inferior a 5% (Tabela 5). O teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, como apresenta a Figura 5b, mostrou não haver diferença estatística entre os traços A_{20EPS} e A_{30EPS}.

Tabela 5: Análise de Variância para o teste de resistência à compressão.

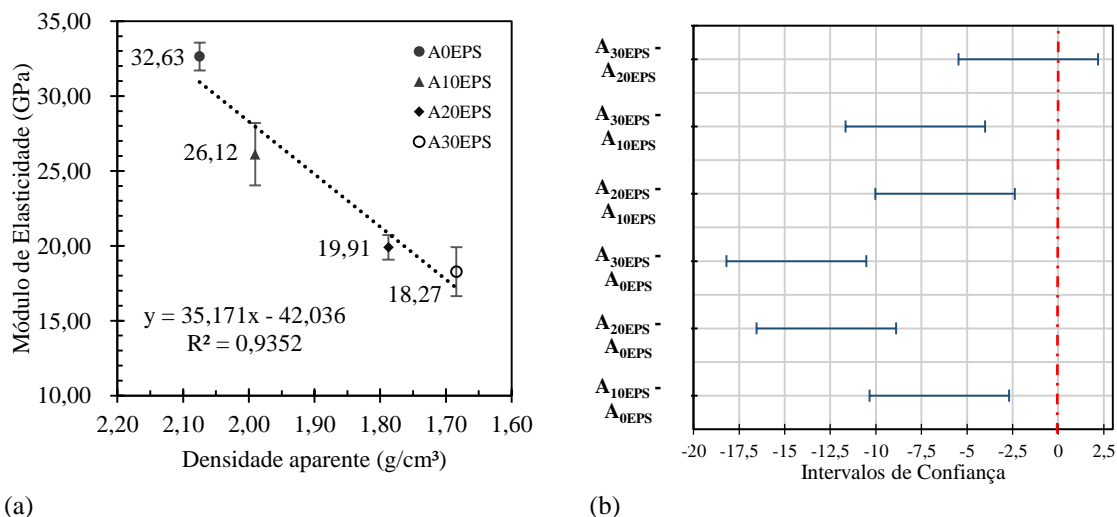
	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	9,71	3	3,23818	26,69	0,0001614	SIM
Erro	0,97	8	0,121342			
Total	10,68	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ = efeito significativo.

A tração na flexão foi uma propriedade que se relacionou inversamente proporcional à densidade aparente no estado endurecido. A relação entre as propriedades pôde ser explicada por uma função linear, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,96 (Figura 5a). LIU e CHEN [18] evidenciaram existir uma linearidade na correlação entre a resistência à tração e o volume de EPS introduzido na argamassa. Como a incorporação de EPS afeta diretamente a densidade do compósito, os resultados aqui apresentados ratificam o que se existe na literatura. Uma vez que esses materiais se comportam de forma similar a vazios, as misturas com maiores teores de EPS apresentam uma microestrutura formada por ligações interatômicas mais fracas, e a medida de que se aumenta o teor de EPS, aumenta-se a quantidade de defeitos cristalinos, gerando pontos de fragilidades, pelos quais às tensões são facilmente propagadas.

3.1.4 Módulo de elasticidade

Os resultados de módulo de elasticidade dinâmico foram obtidos através do procedimento de propagação de onda ultra-sônica, conforme ABNT NBR 15630 [31], e estão apresentados na Figura 6. Assim como nas demais propriedades mecânicas, constatou-se que as pérolas de poliestireno expandido atuam reduzindo o módulo de elasticidade dinâmico da argamassa. Consequentemente, observou-se uma relação inversamente proporcional entre o módulo e a densidade aparente do material. Nesse sentido, há uma relação linear entre as duas propriedades, que podem ser explicadas através do modelo apresentado na Figura 6, com um R^2 de 0,94.


Figura 6: Módulo de elasticidade: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do teste de Tukey.

Com a análise dos dados, observou-se que a incorporação de EPS possibilitou a redução do módulo dinâmico em até 44%, aproximadamente, no caso do traço A_{30EPS}, em comparação ao traço controle, A_{0EPS}. Nos demais casos, a redução do módulo foi de 20%, para o A_{10EPS} e de 39%, para o A_{20EPS}, aproximadamente, em comparação ao traço A_{0EPS}.

A Análise de Variância mostra uma diferença significativa entre os tratamentos para este experimento, uma vez que o P-valor, resultou em um valor inferior a 5% (Tabela 6). A partir das comparações múltiplas do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, como apresenta a Figura 6b, nota-se que há diferença estatística entre a maioria dos tratamentos, com a exceção dos traços A_{20EPS} e A_{30EPS}. Demonstrando que esses teores de EPS apresentam padrões de deformabilidade similares.

Tabela 6: Análise de Variância para o teste de resistência à compressão.

	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	384,96	3	128,32	59,84	0,000008	SIM
Erro	17,15	8	2,14425			
Total	402,11	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ =efeito significativo.

Em síntese, a incorporação de EPS, em diferentes teores, modificou significativamente as propriedades físicas das argamassas estudadas neste trabalho. Com efeito, nota-se que o EPS reduz o valor destas propriedades à medida em que é incorporado. Estes dados foram fundamentais para o entendimento do comportamento das placas cimentícias. Pois uma vez que se identificou que a presença do EPS, modifica a microestrutura das matrizes cimentícias, é possível entender as limitações que o produto tem, e direcionar às aplicações mais viáveis em termos de desempenho.

3.2 Caracterização das Placas cimentícias com EPS

Os resultados dos testes referentes à caracterização das placas cimentícias produzidas a partir das argamassas com EPS são apresentados neste subitem. Os testes nos corpos de prova foram feitos após os 28 dias de idade. Para os ensaios de densidade aparente, absorção de água e resistência à tração, foram obtidas a média e o desvio padrão através da análise de três corpos de prova. Esses resultados foram tratados estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA) e do teste de Tukey, com auxílio do software *Action Stat 3.7*.

3.2.1 Densidade aparente

A variação da densidade aparente em relação aos diferentes teores de EPS é apresentado na Figura 7. Em relação a esta propriedade, a incorporação de EPS teve influência considerável na redução da densidade aparente das placas cimentícias. Assim, o traço controle apresentou uma densidade aparente média de 2,18 g/cm³, e as placas produzidas com poliestireno expandido apresentaram uma redução na densidade a medida em que foi aumentado o teor de incorporação. Desse modo, foi possível uma redução percentual na densidade aparente média de 8,72%, 16,06% e 23,39%, entre as famílias “A_{10EPS}”, “A_{20EPS}” e “A_{30EPS}”, respectivamente.

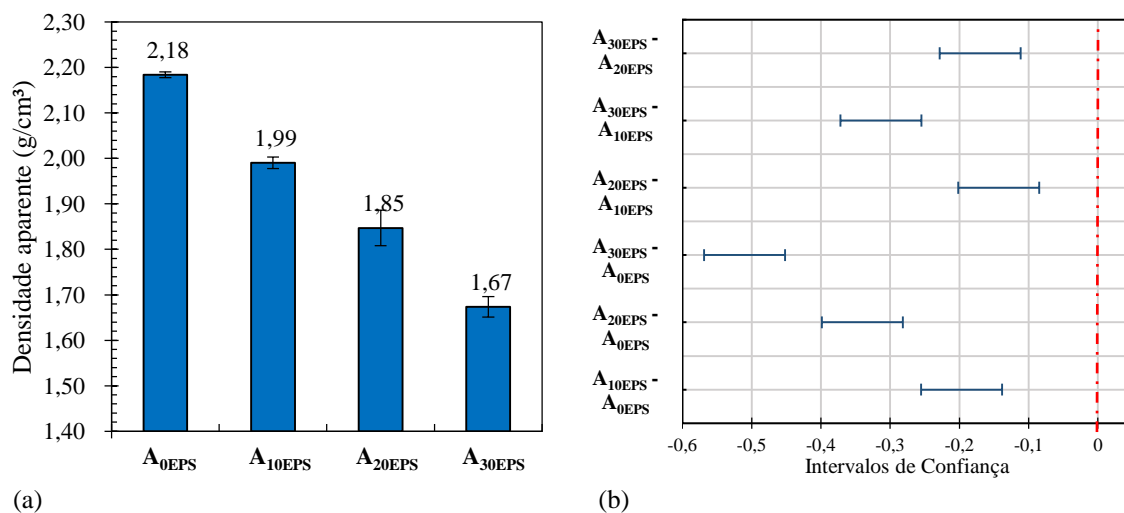


Figura 7: Densidade aparente placas cimentícias: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do teste de Tukey.

Estatisticamente, a Análise de Variância confirmou que existe diferença significativa entre os tratamentos, uma vez que o P-valor apresentou um valor abaixo de 5% conforme mostra a Tabela 7. Complementarmente a esta análise, o teste de Tukey mostrou que entre existe diferença estatística entre todos os traços

comparados, conforme apresentado na Figura 7b.

Tabela 7: Análise de Variância para o teste de densidade.

	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	0,42	3	0,1405	281	0,000000019	SIM
Erro	0,004	8	0,005			
Total	0,43	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ = efeito significativo.

A ABNT NBR 15498 [10] não fixa valores de densidade das placas cimentícias para serem aptas ao uso, entretanto exige que o fabricante especifique na documentação técnica o seu valor. Desse modo, não há impedimento quanto a essa propriedade para uso em vedação vertical das placas com EPS.

Por outro lado, é de conhecimento comum que quanto menor a densidade da vedação vertical, menor será a carga permanente atribuída à estrutura da edificação. Sendo assim, o uso de painéis leves pode possibilitar economia no custo global de construção. Outros benefícios relativos ao uso de componentes leves e pré-fabricados estão na facilidade na execução das instalações, alta produtividade e facilidade de manutenção [35].

3.2.2 Resistência à flexão

Os resultados dos testes de resistência à flexão das placas cimentícias são apresentados na Figura 8. Similarmente ao ocorrido nos testes de tração na flexão das argamassas, as placas com EPS apresentaram resultados de resistência à flexão inferiores que as placas produzidas com o traço de referência (A_{0EPS}).

Observa-se, também, que os valores de resistência à flexão das placas foram inferiores aos resultados de resistência à flexão apresentados pelas argamassas. Esse fato pode ter ocorrido pela presença da tela plástica que, por sua natureza polimérica, não contribuiu mecanicamente para a resistência do material. Uma vez que esse material tem baixa resistência mecânica, cria-se uma zona frágil ao longo do material e o torna mais frágil.

A resistência à flexão das placas cimentícias, assim como a resistência das argamassas, mostrou ser uma propriedade que se relaciona de modo linear em função da densidade aparente. Através de uma correlação linear entre as variáveis, pôde-se obter um coeficiente de correlação de 92% (Figura 8a).

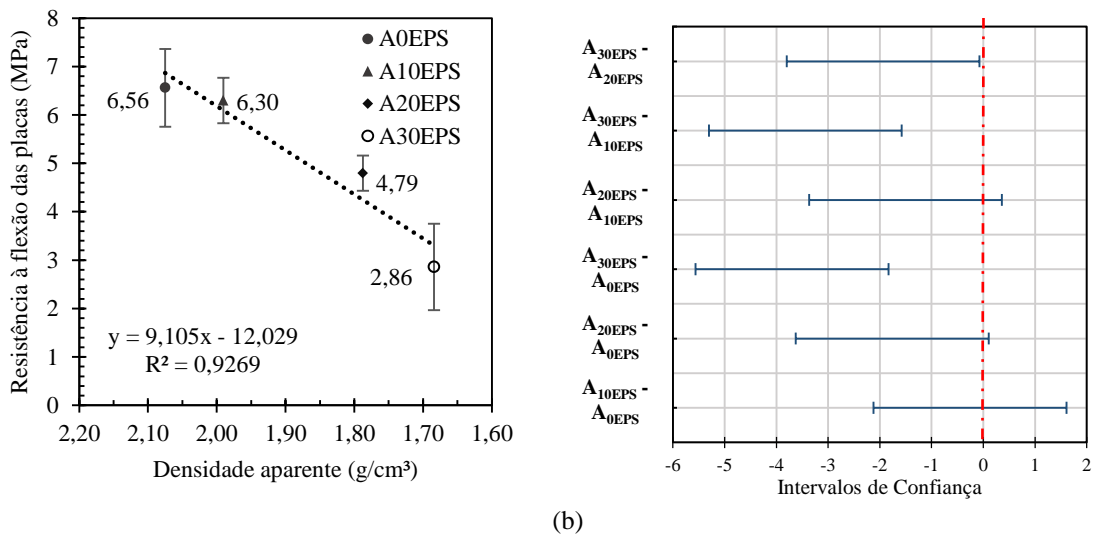


Figura 8: Resistência à flexão das placas cimentícias: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do teste de Tukey.

Por sua vez, a Análise de Variância mostra que existem tratamentos que diferem entre si, uma vez que o P-valor resultou em valores abaixo de 5% (Tabela 8). O teste de Tukey mostrou que as comparações entre os

traços A_{30EPS} - A_{20EPS} , A_{30EPS} - A_{10EPS} e A_{30EPS} - A_{0EPS} são diferentes estatisticamente (Figura 8b).

Tabela 8: Análise de Variância para o teste de resistência à flexão.

	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	26,00	3	8,66828	17,05	0,00077	SIM
Erro	4,07	8	0,508442			
Total	30,07	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ =efeito significativo.

Com base nas diretrizes da ABNT NBR 15498 [10], é possível dizer, portanto, que as placas produzidas com os traços “ A_{10EPS} ” e “ A_{20EPS} ”, assim como o traço controle, são aptas para aplicação em sistemas de vedação vertical, no tocante a resistência à flexão. Sendo assim, essas placas são classificadas na Classe B, inclusas na Categoria 1, por possuírem resistência à flexão média entre 4MPa e 7MPa. Com essa classificação, elas são indicadas para aplicações internas e externas não sujeitas a ação direta de sol, chuva, calor e umidade. As placas produzidas com o traço A_{30EPS} não atendem este requisito da norma e, conseqüentemente, não são indicadas para o uso em vedações verticais.

3.2.3 Absorção de água

Os resultados de absorção de água das placas cimentícias com incorporação de pérolas de poliestireno expandido estão apresentados na Figura 9.

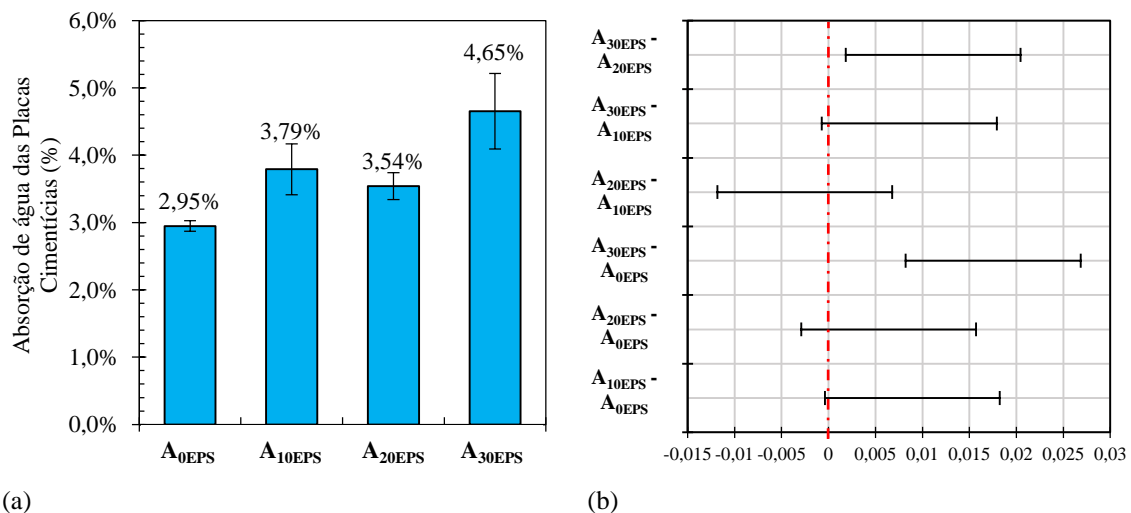


Figura 9: Resistência à flexão das placas cimentícias: (a) resultado do teste experimental; (b) Comparações múltiplas através do Teste de Tukey.

Estatisticamente, a análise de variância confirmou existir uma diferença significativa entre os tratamentos, uma vez que o nível de significância resultou em um valor inferior a 5%, conforme apresenta a Tabela 9. Misturas com maiores teores de EPS, apresentam uma maior capacidade de absorção de água. O teste de Tukey mostrou que as comparações entre os traços A_{30EPS} - A_{20EPS} e A_{30EPS} - A_{0EPS} são diferentes estatisticamente (Figura 8b).

Tabela 9: Análise de Variância para o teste de resistência à compressão.

	SQ	GL	SQM	F-VALOR	P-VALOR	SIG.
Entre grupos	4,74	3	1,58128	12,47	0,00219	SIM
Erro	1,01	8	0,126767			
Total	5,76	11				

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade (n-1); SQM: média quadrática; F-Valor: valor calculado de F; P-Valor: nível de significância; se $p < 5\%$ = efeito significativo.

Os resultados do ensaio de absorção mostram um aumento na absorção de água nos traços das placas com EPS. FERRÁNDIZ-MAS e GARCÍA-ALCOCEL [17] e BABU e BABU [36] evidenciaram em suas pesquisas o fato de que concretos com EPS podem ter maior capacidade de absorção de água, se comparadas com concretos convencionais. Segundo ROSSIGNOLO [37], em concretos leves, a zona de transição pasta/agregado apresenta maior permeabilidade do que a pasta, bem como altos teores de poros. Isso pode explicar o aumento da absorção de água das placas com a incorporação do EPS.

Destarte, apesar da diferença estatística entre as famílias de placas cimentícias, é possível notar que a incorporação de EPS, para os teores usados neste experimento, não inviabilizam as placas para a finalidade desta pesquisa. A proposta de aplicação é para ambientes internos, ao qual não há incidência de água constantemente sobre a superfície.

3.2.4 Permeabilidade de água

Os resultados do experimento podem ser visualizados na Tabela 10. O experimento foi realizado em um local protegido dos intempéries, do vento e sol, e tiveram monitoramento de temperatura e umidade durante a realização do teste. Em relação as indicações normativas, a temperatura manteve-se dentro dos padrões exigidos, porém, a umidade medida manteve-se superior a recomendação da NBR 15498 (ABNT, 2016).

Em relação à permeabilidade de água, todas as placas testadas mostraram-se aptas para o uso, uma vez que não apresentaram formação de gotas de água na face inferior da placa durante a execução do experimento. Por outro lado, apesar de a placa cimentícia do traço “A_{30EPS}” não apresentar gotas de água na face inferior, surgiu nela uma pequena mancha de umidade após o tempo de 24 horas de ensaio. Esse fenômeno entra em concordância com o experimento de absorção de água, uma vez que foi o traço em que teve a maior absorção.

Tabela 10: Análise de Variância para o teste de resistência à compressão.

PLACA	TEMP. INICIAL (°C)	U. INICIAL (%)	TEMP. FINAL (°C)	U. FINAL (%)	TRAÇOS DE UMIDADE NA FACE INFERIOR	FORMAÇÃO DE GOTAS DE ÁGUA NA FACE INTERIOR
A _{0EPS}	27,9	94,0	28	95,1	Não	Não
A _{10EPS}	27,4	95,0	27,7	99,9	Não	Não
A _{20EPS}	28	87	28	91	Não	Não
A _{30EPS}	28,4	94,8	29,1	86,8	Sim	Não

4. CONCLUSÕES

Em relação ao estado endurecido das argamassas, a incorporação de EPS permitiu a redução da densidade no estado endurecido de até 19% em relação a argamassa de referência. No que se refere a resistência à compressão, foram obtidas argamassas com resistência variando entre 32,97 MPa (A_{0EPS}) e 16,96 MPa (A_{30EPS}), com uma correlação entre essa propriedade e a densidade de massa da argamassa, a qual o coeficiente de determinação foi de 86,22%. Por outro lado, a resistência à flexão média das argamassas foi de 7,62 MPa, para a família A_{0EPS}, e 5,24 MPa, para a família A_{30EPS}. Essa propriedade mostrou-se relacionar de modo linear em relação a densidade de massa no estado endurecido da argamassa, obtendo coeficiente de correlação de determinação de 96%. Quanto ao módulo de elasticidade, a incorporação de poliestireno expandido permitiu produzir argamassas com módulo de elasticidade entre 32,63 MPa (A_{0EPS}) e 18,27 MPa (A_{30EPS}). Assim como as demais propriedades, determinou-se uma relação linear com a densidade de 94%. Em relação à caracterização das placas, apenas a A_{30EPS} não atingiu a resistência à flexão mínima exigida pela norma. Quanto a

densidade aparente, foi possível a obtenção de placas com densidade aparente variando de 2,18 g/cm³ a 1,67g/cm³. Todas as placas mostraram-se aptas para o uso em vedação vertical interna, no que se diz respeito à permeabilidade de água. A absorção de água destas variou entre 2,9% a 4,65%. Portanto, os resultados demonstraram a viabilidade da produção de placas cimentícias com a incorporação de até 20% de EPS, as quais apresentaram características técnicas para aplicação em sistemas de vedação vertical internas, segundo as propriedades analisadas nesta pesquisa.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LEMAC), pelo espaço e disponibilização de equipamentos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] FONTENELLE, H. “Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental.” Universidade de São Paulo, 2012.
- [2] NASCIMENTO, O.L. *Alvenarias*, 2nd ed. Rio de Janeiro, 2002.
- [3] QUAGLIO, J.P. “Produção em escala da habitação e racionalização de canteiros de obras,” Universidade de São Paulo, 2018.
- [4] ZATT, G. “Fechamento De Paredes De Vedação: Sistema Light Steel Frame utilizando placas cimentícias,” Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [5] MASS, B.H., TAVARES, S.F. “Quantidade de resíduos de construção na obra de uma habitação de LSF comparada com uma em alvenaria convencional,” *Rev. Mundi Eng. Tecnol. e Gestão*, v. 2, pp. 1-18, 2017.
- [6] CAMILLO, M.G.D. “Análise da utilização de chapas e placas industrializadas nas vedações verticais internas em construções residenciais na Região Sul do Brasil,” Dissertação de Mestrado, Florianópolis, 2010.
- [7] ABNT, “NBR 15575-4 2013 Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas,” doi: 10.1136/annrheumdis-2013-203217.14, p. 51, 2013,.
- [8] OSVALDO, H., BERTOLINI, L. “Construção via obras secas como fator de produtividade e qualidade qualidade Híbrano Osvaldo Lima Bertolini,” 2013.
- [9] CRASTO, R.C.M. “Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados: Light Steel Framing,” Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.
- [10] “ABNT NBR 15498 Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaios.” Rio de Janeiro, 2016.
- [11] KHATIB, J.M., HERKI, B.A., ELKORDI, A. “Characteristics of concrete containing EPS,” *Use Recycl. Plast. Eco-efficient Concr.*, doi: 10.1016/b978-0-08-102676-2.00007-4, pp. 137-165, 2019.
- [12] OZÓRIO, B.P.M. “Concreto leve com pérolas de EPS : estudo de dosagens e de características mecânicas,” *Tese Doutorado*, p. 156, 2016.
- [13] THOMPSETT, D.J., WALKER, A., RADLEY, R.J., *et al.* “Design and construction of expanded polystyrene embankments. Practical design methods as used in the United Kingdom,” doi: 10.1016/0950-0618(95)00069-0. *Constr. Build. Mater.*, v. 9, n. 6, pp. 403-411, 199.
- [14] BARRETO, M.N. “Casa EPS: edifício residencial em painéis monolíticos de poliestireno expandido,” Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.
- [15] “ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química: Comissão Setorial de EPS. O que é EPS.,” 2020.
- [16] ABNT, “NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos.” Rio de Janeiro, 2018.
- [17] FERRÁNDIZ-MAS, V., GARCÍA-ALCOCEL, E. “Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS),” doi: 10.3989/mc.2012.04611. *Mater. Constr.*, v. 62, n. 308, pp. 547-566, 2012.
- [18] LIU N., CHEN, B. “Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete,” doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.062. *Constr. Build. Mater.*, v. 68, pp. 227–232, 2014.
- [19] MILED, K., SAB, K., LE ROY, R. “Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modelling,” doi: 10.1016/j.mechmat.2006.05.008. *Mech. Mater.*, v. 39, n. 3, pp. 222–240, 200.
- [20] VAN, L.T., DINH, T.V., KIM, D.V., *et al.* “Combined Effects of Bottom Ash and Expanded Polystyrene on Lightweight Concrete Properties,” v. 01007, 2018.
- [21] ABNT, “NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica.” 1984.
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “Determinação da composição granulométrica NBR 7217,”

ABNT- Assoc. Bras. Normas Tec. Rio Janeiro, p. 3, 1987.

[23] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 7211:2009 - Agregados para concreto - Especificação,” *Rio de Janeiro*. p. 11, 2009.

[24] N. 52, “NM 52:2009 - Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente,” *Nm*, v. 0002. p. 85, 1998.

[25] Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), “NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios,” *Abnt Nbr 452006*, p. 18, 2006.

[26] ABNT, “NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos,” *ABNT*. Rio de Janeiro, 2009.

[27] de Azevedo, A.R.G. “Desenvolvimento de placas cimentícias reforçadas com incorporação do lodo primário da indústria de papel de celulose afonso rangel garcez de azevedo,” p. 168, 2018.

[28] ABNT, “NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios.” 2016.

[29] ABNT, “NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.” Rio de Janeiro, 2005.

[30] ABNT, “NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.” Rio de Janeiro, 2005.

[31] ABNT, “NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sonica.” Rio de Janeiro, 2009.

[32] RAMLI SULONG, N.H., MUSTAPA, S.A.S., ABDUL RASHID, M.K. “Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: A review,” *J. Appl. Polym. Sci.*, v. 136, n. 20, 2019.

[33] Ranjbar, M.M., Mousavi, S.Y. “Strength and durability assessment of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene,” doi: 10.1617/s11527-013-0210-6. *Mater. Struct. Constr.*, v. 48, n. 4, pp. 1001–1011, 2015.

[34] Tittarelli, F., Giosuè, C., Mobili, A. *et al.* “Effect of Using Recycled Instead of Virgin EPS in Lightweight Mortars,” doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.728. *Procedia Eng.*, v. 161, pp. 660-665, 2016,

[35] Lima, V.C. “Análise Comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico e painéis em gesso acartonado para uso como vedação em edifícios: Estudo de caso em edifício de multipavimentos na cidade de Feira de Santana.” Universidade de Feira de Santana, 2012.

[36] BABU, K.G., BABU, D.S. “Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates,” *Cem. Concr. Compos.*, doi: 10.1016/S0958-9465(03)00034-9. v. 26, n. 6, pp. 605–611, 2004.

[37] ROSSIGNOLO, J.A. *Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações (2009)*. São Paulo, 2009.

ORCID

Max Weverton Moreira da Silva

<https://orcid.org/0000-0002-4006-1735>

Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

<https://orcid.org/0000-0001-7931-4042>