



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

LEDSON LEITÃO BATISTA

**TELHAS DE CONCRETO COM ESFERAS DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

João Pessoa-PB
Dezembro/2024

LEDSON LEITÃO BATISTA

**TELHAS DE CONCRETO COM ESFERAS DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Desenvolvimento e Propriedades de Materiais

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lizabetha Fernanda Araújo Campos

Co-Orientador: Prof^o. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra

João Pessoa-PB
Dezembro/2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B333t Batista, Ledson Leitão.

Telhas de concreto com Esferas de Poliestireno
Expandido (EPS) / Ledson Leitão Batista. - João Pessoa,
2024.

50 f. : il.

Orientação: Lizzandra Fernanda Araújo Campos.

Coorientação: Ricardo Peixoto Suassuna Dutra.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Telha de concreto. 2. Concreto leve. 3. Esferas
de Poliestireno Expandido (EPS). I. Campos, Lizzandra
Fernanda Araújo. II. Dutra, Ricardo Peixoto Suassuna.
III. Título.

UFPB/BC

CDU 666.74(043)

LEDSON LEITÃO BATISTA

**TELHAS DE CONCRETO COM ESFERAS DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

Dissertação aprovada em: 17/12/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 LISZANDRA FERNANDA ARAÚJO CAMPOS
Data: 13/02/2025 19:50:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Lizsandra Fernanda Araújo Campos
Orientadora – UFPB

Documento assinado digitalmente
 RICARDO PEIXOTO SUASSUNA DUTRA
Data: 14/02/2025 10:56:18-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
Co-orientador – UFPB

Documento assinado digitalmente
 NORMANDO PERAZZO BARBOSA
Data: 14/02/2025 08:30:00-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa
Examinador Externo - UFPB

Documento assinado digitalmente
 ULISSES TARGINO BEZERRA
Data: 14/02/2025 07:18:42-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra
Examinador Externo - IFPB

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada e a todos aqueles a quem essa pesquisa possa ajudar de alguma forma.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Grande Arquiteto do Universo.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Adnaloí, pelo estudo, pela dedicação e pela atenção.

Agradeço a minha esposa, Daniela, pelo incentivo e companheirismo.

Agradeço as minhas filhas, Ana Luíza e Letícia: minhas riquezas.

Gratidão aos meus honrosos professores e orientadores, Lyszandra Campos e Ricardo Suassuna, pela compressão, presteza, paciência e motivação no processo da pesquisa.

Por fim, agradeço as Instituições de Ensino Superior, aos colegas acadêmicos, que disponibilizaram parte de seu tempo auxiliando no meu trabalho de pesquisa e aos técnicos de laboratórios pelo pronto atendimento.

Obrigado!

RESUMO

BATISTA, L. L. Telhas de concreto com esferas de poliestireno expandido (EPS). 2024. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2024.

As telhas de concreto são empregadas mundialmente devido a sua estética e durabilidade, no entanto, do ponto de vista estrutural, apresentam elevado peso como desvantagem. Nesse sentido, novas tecnologias têm sido apontadas, incluindo o estudo de formulações sustentáveis que possibilitem a fabricação de elementos construtivos de maior leveza e a consequente redução dos esforços atuantes sobre as estruturas. O concreto leve com poliestireno expandido (EPS) que tem sido objeto de estudo em diversas universidades ao redor do mundo, principalmente, em virtude de sua baixa massa específica e capacidade de isolamento térmico. O objetivo geral deste trabalho foi produzir telhas de concreto com utilização de EPS, como agregado leve nas suas formulações, e estudar seu efeito nas propriedades tecnológicas das telhas obtidas. Para tanto, foram produzidas telhas de concreto convencionais e telhas de concreto leve com adição ou substituição de 15 % e 20 % de EPS em relação ao agregado miúdo (areia), em volume. As características tecnológicas das telhas foram determinadas e avaliadas de acordo com normas vigentes e as características microestruturais foram analisadas por microscopia ótica e eletrônica de varredura. Em geral, os resultados dos ensaios físicos e mecânicos das telhas produzidas atendem requisitos da NBR 13858-2. A adição de 20 % de EPS nas formulações proporcionou maior leveza às telhas de concreto estudadas, apresentando redução de peso de 11,10 % com relação às telhas sem adição de EPS. Verifica-se que a adição/substituição por EPS proporciona redução da resistência mecânica, mas não compromete a qualidade das telhas produzidas. Pode-se concluir que os teores de EPS estudados nessa pesquisa (15 % e 20 %) são promissores para a aplicação como agregado leve em composições de telhas cimentícias.

Palavras-chave: telha de concreto; concreto leve; EPS.

ABSTRACT

BATISTA, L. L. Concrete tiles with expanded polystyrene (EPS) spheres. 2024. 52p. Dissertation (Master's Degree in Materials Science and Engineering) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2024.

Concrete tiles are used worldwide due to their aesthetics and durability. However, from a structural point of view, they have a high weight as a disadvantage. In this sense, new technologies have been pointed out, including the study of sustainable formulations that allow the manufacture of lighter construction elements and the consequent reduction of the forces acting on the structures. Lightweight concrete with expanded polystyrene (EPS) has been the subject of study in several universities around the world, mainly due to its low specific mass and thermal insulation capacity. The general objective of this work was to produce concrete tiles using EPS, as a lightweight aggregate in their formulations, and to study its effect on the technological properties of the tiles obtained. For this purpose, conventional concrete tiles and lightweight concrete tiles were produced with the addition or replacement of 15% and 20% of EPS in relation to the fine aggregate (sand), by volume. The technological characteristics of the tiles were determined and evaluated according to current standards and the microstructural characteristics were analyzed by optical and scanning electron microscopy. In general, the results of the physical and mechanical tests of the tiles produced meet the requirements of NBR 13858-2. The addition of 20% EPS in the formulations provided greater lightness to the concrete tiles studied, presenting a weight reduction of 11.10% in relation to the tiles without the addition of EPS. It was found that the addition/replacement by EPS provides a reduction in mechanical resistance, but does not compromise the quality of the tiles produced. It can be concluded that the EPS contents studied in this research (15% and 20%) are promising for application as lightweight aggregate in cementitious tile compositions.

Keywords: concrete tile; lightweight concrete; EPS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Aspecto macroscópico das esferas de EPS	21
Figura 2.	Metodologia experimental	22
Figura 3.	Procedimentos de preparação para caracterização das amostras	23
Figura 4.	Ensaio de massa específica do agregado miúdo	23
Figura 5.	Ensaio de massa unitária de agregado miúdo (areia)	24
Figura 6.	Preparação para realização da curva granulométrica do agregado	25
Figura 7.	Etapas da realização do ensaio de massa específica do cimento	26
Figura 8.	Etapas da realização do ensaio de massa unitária do cimento	26
Figura 9.	Procedimento para o ensaio de determinação da consistência e tempo de início e fim de pega da pasta do cimento	27
Figura 10.	Dosagens para os traços de telha de concreto com esferas de EPS	28
Figura 11.	Molde confeccionado utilizado para obtenção das telhas de concreto	29
Figura 12.	Etapas da fabricação das telhas de concreto: (a) mistura, (b) vibração e (c) moldagem	31
Figura 13.	Corpos de prova em processo de conformação	32
Figura 14.	Processo de cura dos corpos de prova	32
Figura 15.	Ensaio de permeabilidade das telhas de concreto	34
Figura 16.	Ensaio mecânico de resistência à flexão	35
Figura 17.	Ensaio mecânico de resistência à compressão	36
Figura 18.	Curva granulométrica do agregado miúdo	37
Figura 19.	DRX da areia	38
Figura 20.	DRX do cimento	39
Figura 21.	Telhas de concreto (TC) durante o ensaio de permeabilidade	41
Figura 22.	Gráfico comparativo da resistência mecânica à compressão das telhas sem e com diferentes percentuais de EPS adicionado e substituído	44
Figura 23.	Micrografias das telhas de concreto (a) sem EPS e (b) com EPS	44
Figura 24.	Fronteira entre a matriz cimentícia e o EPS da telha de concreto: (a) micrografia com ampliação de 250x; (b) micrografia com ampliação de 1000x; (c) distribuição química dos elementos na micrografia com 250x	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Ficha técnica, cedida pelo fabricante, do EPS utilizado na pesquisa	21
Tabela 2.	Características geométricas gerais da telha de concreto	30
Tabela 3.	Características geométricas do perfil da telha de concreto	30
Tabela 4.	Critérios de desempenho para os ensaios empenamento, absorção de água, permeabilidade e carga de ruptura à flexão	33
Tabela 5.	Resultados das propriedades físicas da areia, do cimento e do EPS	38
Tabela 6.	Composição química da areia e do cimento	39
Tabela 7.	Absorção de água das telhas de concreto e redução de peso após adição/substituição EPS	40
Tabela 8.	Carga de ruptura à flexão das telhas de concreto	42
Tabela 9.	Resistência mecânica à compressão dos corpos cilíndricos	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Telhas de concreto	15
2.2 Poliestireno expandido (EPS)	15
2.3 Concreto leve com EPS	16
2.4 Aplicações do concreto leve com EPS	17
2.5 Questões ambientais	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Materiais	21
3.2 Métodos	22
3.2.1 Caracterização dos materiais	22
3.2.1.1 Ensaio de massa específica do agregado miúdo (areia)	23
3.2.1.2 Ensaio de massa unitária de agregado miúdo (areia)	23
3.2.1.3 Ensaio de obtenção da curva granulométrica do agregado	24
3.2.1.4 Ensaio de massa específica do cimento	25
3.2.1.5 Ensaio de massa unitária do cimento	26
3.2.1.6 Ensaio de determinação da consistência e tempo de início e fim de pega da pasta do cimento	27
3.2.1.7 Classificação granulométrica das esferas de EPS	28
3.2.1.8 Análise mineralógica e química	28
3.2.2 Dosagens/Formulações	28
3.2.3 Moldagem, desmoldagem e cura	29
3.2.4 Ensaio físicos e mecânicos	33
3.2.4.1 Empenamento	33
3.2.4.2 Absorção da água e redução de peso após adição/substituição de EPS.	33
3.2.4.3 Permeabilidade	34
3.2.4.4 Ensaio mecânico de resistência à flexão	34
3.2.4.5 Ensaio mecânico de resistência à compressão	35
3.2.5 Análise microestrutural das telhas	36

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Propriedades físicas das matérias-primas	37
4.2 Análise mineralógica e química	38
4.3 Propriedades físicas e mecânicas das telhas de concreto	40
4.3.1 Empenamento	40
4.3.2 Absorção da água e redução de peso após adição/substituição de EPS	40
4.3.3 Permeabilidade	41
4.3.4 Resistência à flexão das telhas	41
4.3.5 Resistência mecânica à compressão	42
4.4 Análise microestrutural das telhas	44
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas da humanidade e desempenha um papel importante no desenvolvimento econômico e social de um país. Apesar da sua importância e da contribuição para melhorias de infraestrutura, habitação e para o progresso da humanidade, essa atividade também está associada a diversos problemas ambientais. Considera-se que grande parte dos impactos ambientais proporcionado pela indústria da construção civil, deve-se ao consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não-renováveis (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

O consumo elevado de concreto pelos humanos é o resultado de qualidades inerentes a esse produto, por ser um material de construção resistente às solicitações mecânicas e ao fogo, além de não se deteriorar facilmente e ser durável em muitos ambientes. Sua produção não requer tecnologia sofisticada para a maior parte de sua produção e 85% de seu volume resultante de materiais de baixo custo (OZÓRIO, 2016).

Dos produtos obtidos em concreto, as telhas de concreto são amplamente utilizadas em todo o mundo e geralmente produzidas com um concreto específico composto por aglomerante, agregado miúdo, aditivo e água (SAVASTANO JUNIOR *et al.*, 1999). Entre suas vantagens, destacam-se boa resistência mecânica, durabilidade, facilidade de manuseio, variedade de cores, resistência à ação do intemperismo e isolamento acústico. No entanto, apresentam desvantagens como peso elevado e alta porosidade (PEIXOTO *et al.*, 2010; DAMASCENO *et al.*, 2015; MUNIZ-GAAL *et al.*, 2018).

Segundo KAN e DEMIRBOĞA (2009) a densidade do concreto leve varia de 400 kg/m³ a 1800 kg/m³. Sua reduzida massa específica é de grande importância do ponto de vista estrutural, uma vez que possibilita a fabricação de elementos construtivos de maior leveza e a consequente redução dos esforços atuantes sobre as estruturas e fundações, como por exemplo, telhas de concreto leve. A redução do custo final do projeto, principalmente em função da economia com o transporte de peças mais leves, também pode ser vista como uma das vantagens dessas telhas.

A utilização do poliestireno expandido (EPS) nas formulações de concreto leve tem sido objeto de estudo em diversas universidades ao redor do mundo principalmente em virtude de sua baixa massa específica e capacidade de isolamento térmico e acústico (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Atualmente existem poucos estudos abrangendo a fabricação de telhas de concreto utilizando o EPS como agregado leve, fato que pode ser mais amplamente estudado,

considerando a possibilidade de desenvolvimento de novos materiais (MULLER; SCHNEIDER, 2018).

Diante do exposto, o presente trabalho propõe produzir telhas de concreto leve utilizando EPS como agregado, visando estudar o seu efeito nas propriedades tecnológicas das telhas obtidas e contribuir cientificamente com os estudos nessa área.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi produzir telhas de concreto com utilização de EPS, como agregado leve nas suas formulações, e estudar o seu efeito nas propriedades tecnológicas das telhas obtidas.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as matérias-primas utilizadas na confecção das telhas de concreto leve;
- Estudar diferentes teores de EPS nas formulações das telhas, analisando a influência dessa variável nas suas propriedades;
- Analisar a microestrutura final das telhas produzidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Telhas de concreto

As telhas de concreto tiveram origem na Bavária, região sudeste da Alemanha em meados do Século XIX. Contudo, sua primeira patente foi registrada em 1844 na Alemanha por Adolf Kroher. No Brasil, sua produção começou em 1976 em São Paulo na fábrica da Eternit, passando a ser produzida por vários fabricantes em todo país. Com o avanço da tecnologia de moldagem e pigmentação, elas se tornaram mais acessíveis e populares, especialmente em regiões com condições climáticas adversas, onde a resistência ao intemperismo era essencial. Hoje, são amplamente usadas em construções residenciais, comerciais e industriais ao redor do mundo (MULLER; SCHNEIDER, 2018).

A primeira norma brasileira destinada às telhas de concreto foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1997 e revisada em 2009. De acordo com a NBR 13858-2 (ABNT, 2009), as telhas de concreto são componentes para cobertura que possuem forma retangular e perfil geralmente onduladas, sua composição é de cimento, agregados e água, podendo conter aditivos. Essas telhas podem ser fabricadas nas cores naturais ou coloridas, pela adição de pigmento à massa ou pela aplicação de uma camada superficial (SAVASTANO JUNIOR *et al.*, 1999).

As telhas de concreto são empregadas mundialmente, devido à sua estética e durabilidade (SAVASTANO JUNIOR *et al.*, 1999). De acordo com PEIXOTO *et al.* (2010) e DAMASCENO *et al.* (2015), como vantagens, as telhas de concreto apresentam boa resistência mecânica, são duráveis, variadas opções de cores e são resistentes à ação do intemperismo. Por outro lado, destacam-se como desvantagens, o peso elevado, a alta porosidade, o que a torna suscetível ao rápido umedecimento e, com isso, necessitando de limpeza anual.

2.2 Poliestireno expandido (EPS)

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido. Descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Buchholz. No Brasil é popularmente conhecido como *Isopor*®, marca registrada da empresa *Knauf Isopor*. O Poliestireno expandido (EPS) é um polímero termoplástico obtido pelo processo de expansão do poliestireno por tratamento químico ou processos de vapor em temperaturas elevadas. As partículas de EPS são esferas com cerca de 98% de ar e 2% de poliestireno, com densidade variando de 10 kg/m³ a 50 kg/m³ (ASSAAD *et al.*, 2018 e YOUMNA *et al.*, 2020).

O EPS é utilizado em vários setores industriais, em artigos de consumo e até mesmo na agricultura. Porém, sua maior produção está destinada à construção civil. Trata-se de um material que apresenta ótimas características isolantes térmicas e acústicas, leveza, baixo custo, resistência mecânica, absorção a choques, versatilidade e facilidade de manuseio. Por essas e outras características, o EPS na construção civil pode ser utilizado em enchimento de lajes, fôrmas para concreto, sistema de blocos vazado, painéis autoportantes, painéis divisórios, forros isolantes e decorativos, fundação para estradas, drenagem, argamassas e concreto leve. Os produtos finais do EPS são inertes e reaproveitáveis diversas vezes (OZÓRIO, 2016).

2.3 Concreto leve com EPS

O concreto leve com EPS é um material composto basicamente de cimento, areia e EPS em esferas, podendo ser adicionados aditivos. Durante seu processamento o cimento, a areia e as partículas de EPS formam um compósito, proporcionando um concreto com baixa densidade aparente que varia entre 700 kg/m³ a 1600 kg/m³, enquanto o concreto convencional com brita é da ordem de 2400 kg/m³ (MULLER; SCHNEIDER, 2018).

O uso do poliestireno expandido como agregado leve em concreto pode ser feito por meio da utilização de pérolas industrializadas ou através do reaproveitamento de material descartado, o qual é previamente moído ou triturado antes de ser adicionado ao compósito cimentício (LAKSHMIKANDHAN *et al.*, 2017).

O concreto leve com EPS apresenta baixa condutividade térmica, versatilidade, podendo ser moldado em vários tamanhos e modelos, apresentando facilidade de produção e boa relação custo-benefício tornando esse material atrativo para indústria de construção civil (YOUMNA *et al.*, 2020; FATHI *et al.* 2017 e GONÇALVES, 2019).

A aplicação de esferas de EPS no concreto proporciona efeito benéfico relacionada ao conforto térmico (CATOIA (2012); CHEN; LIU, 2004). Quando o teor de EPS na dosagem é aumentado, sua massa específica e resistência à compressão, são reduzidas (RANJBAR; MOUSAVI, 2015), assim como, a condutividade térmica (XU *et al.*, 2016). Foi observado aumento da ductilidade diante da incorporação das esferas de EPS. A investigação experimental levou a conclusão de que o uso do EPS no concreto provoca aumento da absorção de energia nos ensaios de resistência à compressão, reduzindo assim a sua fragilidade. Além de apresentar vantagens relacionadas à redução de peso próprio, apresenta melhorias nas propriedades térmicas se comparado ao concreto convencional (BABU *et al.*, 2006).

As características particulares do EPS em relação ao agregado leve de ocorrência natural (como perlita, argila, caulim, xisto e ardósia) incluem suas naturezas hidrofóbicas e não

absorventes (ASSAAD *et al.*, 2018).

O EPS no interior do concreto leve pode reduzir a permeabilidade e aumentar a resistência ao ataque químico devido à natureza celular, fechada e inerte das esferas de poliestireno expandido (BABU *et al.*, 2006). Em geral, os concretos leves têm índice de absorção de água superior a 8 % e o concreto com EPS apresenta absorção entre 2,8 % e 6,9 % (RANJBAR; MOUSAVI, 2015).

O concreto leve de poliestireno expandido (EPS) é cada vez mais usado devido às suas características leves, no entanto, devido à natureza hidrofóbica e à densidade muito baixa das esferas de EPS, os concretos de EPS são propensos a segregação, má aderência e problemas de homogeneidade. As propriedades do concreto de EPS são altamente dependentes das proporções da mistura e do procedimento de mistura (CHEN; LIU, 2004 e RAVINDRARAJAH; TUCK, 1994).

Devido à baixa ligação entre EPS e pasta de cimento, natureza hidrofóbica e baixa resistência mecânica de grânulos de EPS, há redução significativa na resistência à compressão de concretos de EPS. Estudos mostraram que a densidade do concreto leve é a propriedade mais relevante que influencia sua resistência à compressão, onde o aumento na densidade resulta numa resistência à compressão maior (CHEN; LIU, 2014 e MOUTASSEM, 2020).

CHEN e LIU (2014) conduziram um estudo experimental sobre a influência do tamanho da partícula de EPS nas propriedades mecânicas de concretos leves de EPS e concluíram que a resistência mecânica do concreto depende do tamanho e quantidade das esferas de EPS. Os concretos com EPS apresentam fratura gradual e lenta, enquanto aqueles sem EPS apresentam fratura frágil e rápida.

2.4 Aplicações do concreto leve com EPS

O concreto leve com EPS é indicado para construções convencionais que não exigem materiais de alta resistência ou grandes esforços, geralmente em elementos leves não estruturais (MULLER; SCHNEIDER, 2018).

O concreto com esferas de EPS pode ser utilizado em sistemas de pavimentação como material de sub-base de pavimentos e lastro de vias férreas, material de construção para estruturas marítimas (fundos e cercas flutuantes) e contenção de impacto em plataformas petrolíferas (BABU *et al.*, 2006). A procura de concreto leve em construções modernas, tais como edifícios altos, estruturas off-shore e pontes longas está em ascensão. Tal interesse surgiu a partir da necessidade de reduzir o volume de muitos elementos estruturais, como a redução das fundações por limitação de espaço, aliado à procura de melhorias das propriedades térmicas

para beneficiar melhoras de conforto térmico e durabilidade (WANG *et al.*, 2019).

MULLER e SCHNEIDER (2018) desenvolveram uma pesquisa analisando a viabilidade do uso do resíduo de EPS como agregado miúdo, componente do concreto leve para a fabricação de telhas. Foram realizados ensaios para dosagens de telhas sem adição e com adição de 25 %, 35 % e 50 % de EPS. Os autores concluíram que a adição de EPS não interferiu nas características físicas como empenamento, esquadro e espaço “gap” entre as telhas, em contrapartida influenciou na diminuição do peso das telhas, com redução de aproximadamente 14,60 % para as telhas com adição de 25 % de EPS. Verificou-se também que as telhas com 35 % e 50 % apresentaram falhas no processo de produção e não obtiveram resultados satisfatórios para resistência à flexão conforme o mínimo estabelecido pela NBR 13858-2. Entretanto, quando comparadas com as telhas cerâmicas que possuem cargas de ruptura à flexão entre 1000 N e 1300 N, as telhas com adição de EPS apresentaram resultados superiores que variam entre 1237,07 N a 1987,42 N. Os autores sugeriram novos estudos a fim de viabilizar tecnicamente a produção das telhas de concreto leve.

2.5 Questões ambientais

Os resíduos da construção e demolição são gerados nas obras de construção civil, devido às falhas na elaboração e execução de projetos, má qualidade de materiais, armazenamento inadequado, má qualificação dos operários, falta de orientação técnica e falta de planejamento de etapas de execução. A maior parte dos resíduos de construção é depositada clandestinamente em terrenos baldios, passeios públicos, cursos d'água, as margens de estradas, causando proliferação de vetores de contaminação, assoreamentos de rios, obstrução de sistemas de drenagem, comprometendo paisagem urbana e complicações no trânsito de veículos e pedestres. Os resíduos gerados pela construção civil variam dependendo da característica de cada obra e do grau de desenvolvimento da região, mas de uma forma geral é composto por areia, brita, resto de argamassa, concreto, tijolos cerâmicos, madeira, ferro, embalagens de papelão e plásticos (BRASILEIRO; MATOS, 2015 e SILVA, 2007).

Diversos setores têm buscado alternativas no sentido de diminuir os impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos industriais, bem como do uso dos produtos poliméricos e seu descarte. Atualmente, leis governamentais sobre a diminuição do impacto do aquecimento global têm estimulado a reciclagem dos materiais poliméricos, bem como o aumento na aplicação em compósitos na indústria (JESUS *et. al.*, 2019).

A crescente geração de resíduos sólidos gerados pela indústria da construção civil, que muitas vezes não são adequadamente gerenciados, vem exigindo cada vez mais por buscas de

soluções de forma a reduzir o descarte de materiais em aterros sanitários e em outros ambientes que não são apropriados. Com isso, a potencialização do uso dos resíduos na geração de matérias-primas secundárias através da reciclagem, não apenas ajuda a reduzir a quantidade de resíduos enviados a aterros sanitários, mas também contribui para a economia circular, onde os materiais são reintroduzidos no ciclo produtivo, diminuindo a necessidade de extração de novas matérias-primas, de maneira que contribuam para a minimização dos impactos ambientais dos espaços urbanos (OLIVEIRA *et al.*, 2006)

O Brasil e o mundo geram uma grande quantidade de resíduos de polímero entre eles o poliestireno expandido (EPS). Apesar da baixa densidade, o EPS ocupa grande volume, o que onera o transporte e, portanto, sua reciclagem. O setor da construção civil é o maior consumidor de EPS. As aplicações são inúmeras, como em lajes, isolamento térmicos e acústicos, concreto leve, pontes, ferrovias, dentre outras. Este material tem ciclos de vida curtos em comparação com os produtos feitos de poliestireno e outros polímeros. O uso na produção de compósitos pode representar relevância econômica e ambiental (JESUS *et. al.*, 2019).

O poliestireno expandido (EPS) é, normalmente, usado como material de embalagem devido à sua baixa densidade, propriedades hidrofóbicas, bom isolamento térmico, baixa absorção e baixo custo. A produção global anual de poliestireno é de mais de quatorze milhões de toneladas e uma quantidade muito significativa de EPS acaba como resíduos que são enviados para aterros sanitários, que são de espaço limitado (HERKI; KHATIB, 2016).

O concreto com EPS está sendo cada vez mais usado em várias aplicações na indústria da construção e outras indústrias, principalmente devido à sua leveza, excelente preservação de calor e isolamento acústico (BHUTTA *et al.*, 2011).

A busca por um equilíbrio entre desenvolvimento e preservação ambiental é essencial para garantir que a construção civil contribua positivamente para o bem-estar social, sem comprometer os recursos naturais. Como esse viés, a utilização de matérias-primas residuais para a produção de novos materiais torna-se uma abordagem sustentável que visa minimizar o desperdício e otimizar a utilização de recursos. O Brasil e o mundo geram uma grande quantidade de resíduos de polímero entre eles o poliestireno expandido (EPS). O setor da construção civil é o maior consumidor de EPS, logo o uso de resíduos de EPS na produção de produtos de concreto leve pode representar relevância econômica e ambiental (JESUS *et. al.*, 2019).

Uma possibilidade de tornar o concreto leve mais ecologicamente correto e sem perder as características necessárias de uso, é a produção de concreto com utilização de poliestireno expandido (EPS), podendo este ser um resíduo proveniente da própria construção civil, ou

mesmo de embalagens de eletrodomésticos, artigos de consumo, dentre outros (MULLER; SCHNEIDER, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland de alta resistência inicial – CPV-ARI: adquirido, comercialmente.
- Areia média - agregado miúdo: adquirido, comercialmente, procedente de leito de curso d'água, na cor branca/amarelada.
- Esferas de poliestireno expandido (EPS): adquiridas no comércio local, possuindo diâmetros variando de 5 mm a 7 mm de diâmetro, de acordo com os dados fabricante. A Figura 1 apresenta a imagem das esferas de EPS utilizadas nesta pesquisa.

Figura 1. Aspecto macroscópico das esferas de EPS



Fonte: Próprio autor, 2024.

A ficha técnica do EPS (Tabela 1), cedida pelo fabricante, apresenta características em conformidade com a NBR 11752 da ABNT.

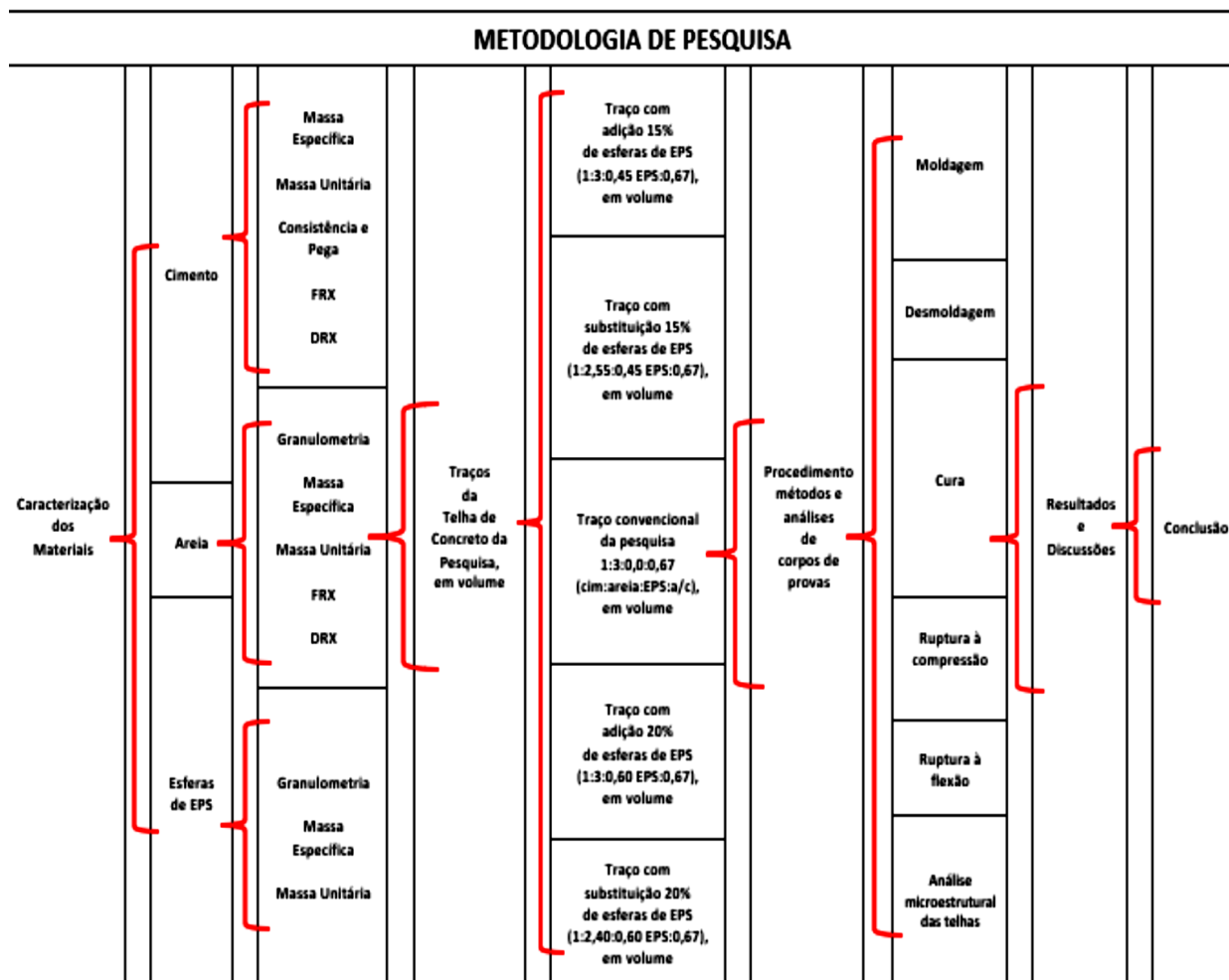
Tabela 1. Ficha técnica, cedida pelo fabricante, do EPS

FICHA TÉCNICA - EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO	
Material:	EPS Poliestireno expandido em esferas Tipo 1F
Massa específica aparente:	9 a 10 kg/m ³
Resistência à compressão:	33 kPa
Resistência mínima à flexão:	> 50 kPa
Resistência mínima ao cisalhamento:	> 25 kPa
Flamabilidade:	Material retardante à chama "Tipo 1F"
Coefficiente de condutividade térmica:	0,045 W/(m.k)
Índice de redução sonora (Rw):	Rw = 35 dB

3.2 Métodos

A etapa experimental consta da caracterização dos materiais, formulações das matérias-primas, produção/fabricação das telhas e corpos de prova, métodos e ensaios seguindo normas específicas para aplicação pretendida, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Metodologia experimental



3.2.1 Caracterização dos materiais

Para realizar as caracterizações, a areia foi classificada em peneira ABNT com abertura de 4,75 mm. Em seguida, a areia e o cimento foram secos em estufa a 100 °C, por 24 horas (Figura 3).

Figura 3. Procedimentos de preparação para caracterização das amostras



Fonte: Próprio autor, 2024.

3.2.1.1 Ensaio de massa específica do agregado miúdo (areia)

Para determinação da massa específica de agregado miúdo (areia), adotou-se o ensaio do Frasco de *Chapman*, conforme Figura 4. Neste ensaio, obteve-se uma amostra de 500 g de areia, previamente peneirada e seca em estufa a 100 °C. Adicionou-se, ao Frasco de *Chapman*, 200 ml de água conforme marcação indicada no recipiente. Na sequência, fez alguns giros a 180 ° para que o ar aprisionado possa sair e esperou-se a areia decantar por inteiro. Por fim, encontrou-se a massa específica da areia (δ), sendo a relação entre a massa da areia (g) pela diferença das leituras final (cm³) e inicial (cm³), em atendimento NBR 9776 e NBR NM 52.

Figura 4. Ensaio de massa específica do agregado miúdo



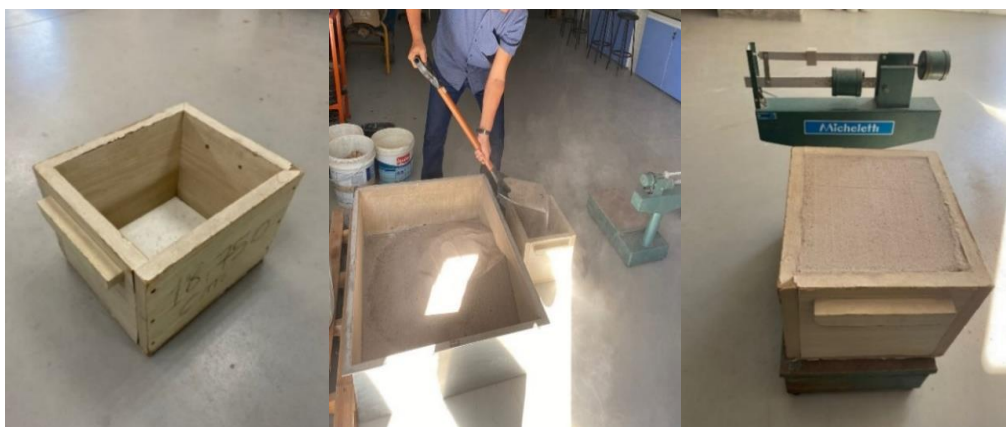
Fonte: Próprio autor, 2024.

3.2.1.2 Ensaio de massa unitária de agregado miúdo (areia)

Na determinação da massa unitária de agregado miúdo (areia), utilizou-se recipiente com volume pré-definido “v” (m³), conforme Figura 5. Neste ensaio, determinou-se e

registrou-se a massa do recipiente vazio “ m_r ” (kg). Em seguida, no mesmo recipiente, preencheu-se com areia até que transbordasse, despejando de uma altura não superior a 50 mm, acima da borda superior, evitando ao máximo a segregação. Na sequência, nivelou-se a camada superficial da areia, rasando com a borda superior do recipiente. Para cada execução do ensaio o cálculo para obtenção da massa unitária da areia “ ρ_{agr} ” (kg/m³), foi obtido pela diferença entre a massa do recipiente com a areia (“ m_{ar} ”, em kg) e a massa do recipiente vazio (“ m_r ”, em kg), pelo volume do recipiente pré-definido (“ v ”, em m³). Por fim, a partir de três repetições, obteve-se o resultado final da massa unitária da areia “ ρ ” (kg/m³) com a média dos resultados das respectivas massas unitárias do agregado miúdo, conforme as Normativas NBR 16972 e NBR NM 45.

Figura 5. Ensaio de massa unitária de agregado miúdo (areia)



Fonte: Próprio autor, 2024.

3.2.1.3 Ensaio de obtenção da curva granulométrica do agregado

Para determinação da curva granulométrica do agregado, utilizou-se no ensaio de granulometria por peneiramento de uma amostra de 500 g, a qual foi inicialmente submetida à secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas. Foram utilizadas peneiras da série normal e intermediária. As peneiras foram encaixadas com abertura de malha em ordem crescente da base ao topo, alocadas sobre o agitador mecânico com vibração, conforme Figura 6, e seguindo a norma NBR NM 248.

Figura 6. Preparação para realização da curva granulométrica do agregado



Fonte: Próprio autor, 2024.

Para cada uma das amostras de ensaio, calculou-se a percentagem retida, em massa, em cada peneira, assim como, as percentagens médias, retida e acumulada, em cada peneira, o módulo de finura e o diâmetro máximo.

As peneiras intermediárias (aberturas: 6,3 mm, 12,5 mm, 25 mm, 31,5 mm, 37,5 mm, 50 mm e 75 mm) não entraram no cálculo de módulo de finura (NBR NM 248).

3.2.1.4 Ensaio de massa específica do cimento

Para determinação da massa específica do cimento “ δ ”, adotou-se o ensaio do Frasco *de Le Chatelier*. Nesse ensaio, a partir de uma amostra de 70 g de cimento, adicionou-se, ao Frasco *de Le Chatelier*, querosene até a marca indicada no recipiente com o número zero (leitura inicial). Na sequência, inseriu-se a amostra de cimento até decantar por inteiro e desprender das paredes, conforme Figura 7. Por fim, calculou-se a massa específica do cimento “ δ ”, como sendo a relação da massa do cimento (g) pela diferença entre as leituras final e inicial (cm^3), conforme norma NBR 16605/NBR NM 23.

Figura 7. Etapas da realização do ensaio de massa específica do cimento



Fonte: Próprio autor, 2024.

3.2.1.5 Ensaio de massa unitária do cimento

Na determinação da massa unitária do cimento “ ρ ”, utilizou-se recipiente com volume pré-definido (dm^3). Inicialmente, determinou-se e registrou-se a massa do recipiente vazio (kg). Em seguida, no mesmo recipiente, preencheu-se com cimento, não compactado, rasou o material pulverulento e pesou-se novamente, conforme procedimento visualizado na Figura 8. Repetiu-se o mesmo procedimento por três vezes, em atendimento a norma NBR 11579. A massa unitária do cimento, “ ρ ” (kg/dm^3), foi obtida pela média aritmética das três repetições.

Figura 8. Etapas da realização do ensaio de massa unitária



Fonte: Próprio autor, 2024.

3.2.1.6 Ensaio de determinação da consistência e tempo de início e fim de pega da pasta do cimento

O ensaio de determinação da consistência e tempo de início e fim de pega da pasta do cimento teve como parâmetro, consistência normal com índice de consistência igual a $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, conforme NBR 7215. Utilizou-se no ensaio o aparelho de Vicat com sonda de Tetmajer, agulha de Vicat e molde troncocônico. Pesou-se uma quantidade de material (400 g), misturando com a água de amassamento (135 ml) até atingir o índice de consistência de $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ que é a distância (mm) da extremidade da sonda ao fundo da forma (chapa de vidro) que, por tentativas, atingido para uma água de amassamento, conforme observado na Figura 9 e de acordo com a norma NBR 7215/NBR NM 43.

Figura 9. Procedimento para o ensaio de determinação da consistência e tempo de início e fim de pega da pasta do cimento



Fonte: Próprio autor, 2024.

De acordo com a norma NBR 7215/NBR NM 43, considera-se como início de pega o tempo que decorre desde a adição de água até o início das reações com os componentes de cimento, ou seja, contado a partir do instante em que se lançou a água de amassamento, e fim de pega em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna um bloco rígido, ou seja, também, contado a partir do instante em que se lançou a água de amassamento até o momento em que a agulha, aplicada suavemente sobre a superfície da pasta, não deixa impressões apreciáveis.

3.2.1.7 Classificação granulométrica das esferas de EPS

A classificação granulométrica das esferas de EPS foi realizada utilizando peneiras da série normal e intermediária. Em uma quantidade de 6000 ml de EPS, 40 % das esferas de EPS passaram na peneira de abertura 6,3 mm e ficaram retidas na peneira de abertura 4,75 mm, enquanto 60 % das esferas de EPS passaram na peneira de abertura 9,5 mm e ficaram retidas na peneira 6,3 mm.

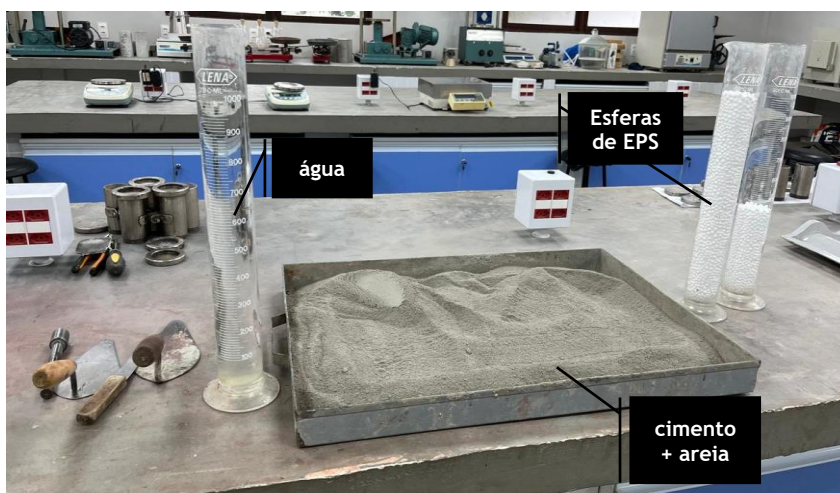
3.2.1.8 Análise mineralógica e química

O cimento e a areia foram submetidos aos ensaios de análise química por Fluorescência de Raios X (FRX), no Espectrômetro EDX-720, e análise por Difração de Raios X (DRX), em Difratorômetro SHIMADZU (XRD-6000), equipado com radiação de cobre ($1,5481 \text{ \AA}$). Os parâmetros usados por DRX, foram: ângulo de varredura 2θ entre 10° e 90° , passo angular de $0,02^\circ$, tempo de passagem de 2 segundos e radiação monocromática $\text{CuK}\alpha$ ($1,5481 \text{ \AA}$).

3.2.2 Dosagens/Formulações

Os traços da telha de concreto em volume (cimento:areia:%EPS:fator água/cimento - cim:areia:%eps:a/c), contém teores de cimento (cim), areia (areia), esferas de EPS (%eps) e fator água/cimento (a/c) pré-estabelecidos de acordo com os ensaios de caracterização das matérias-primas. O traço da telha sem EPS (convencional), com base em testes preliminares realizados em laboratório, foi 1:3:0,67 (cim, areia, a/c), em volume, conforme observado na Figura 10.

Figura 10. Dosagens para os traços de telha de concreto com esferas de EPS



Fonte: Próprio autor, 2024.

Para obtenção das telhas de concreto com e sem EPS foram moldados, em laboratório, 05 (cinco) lotes de telhas de concreto, no formato tradicional, assim distribuídos:

- 1º(*primeiro*) lote – traço convencional da pesquisa (“tcp”) - composto por cimento, areia e água (sem esferas de EPS);
- 2º(*segundo*) lote composto de cimento, areia, água e adição de 15% de esferas de EPS;
- 3º(*terceiro*) lote composto de cimento, areia, água e substituição de 15% de esferas de EPS;
- 4º(*quarto*) lote composto de cimento, areia, água e adição de 20% de esferas de EPS e
- 5º(*quinto*) lote composto de cimento, areia, água e substituição de 20% de esferas de EPS.

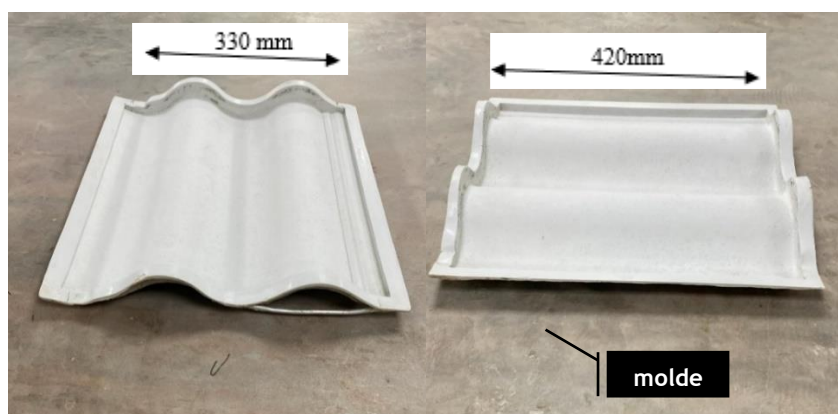
Para cada lote foram confeccionadas 2 (duas) telhas de concreto e 6 (seis) corpos de provas cilíndricos, dentro dos padrões estabelecidos pela NBR 13858-2.

Os termos “*adição*” significa percentual de esferas de EPS adicionado ao “tcp”, em volume, e “*substituição*” significa percentual de esferas de EPS substituído por areia ao “tcp”, em volume.

3.2.3 Moldagem, desmoldagem e cura

Foram confeccionados corpos de prova padronizados para análise conforme normalização vigente. A normativa para telha de concreto é composta pela NBR 13.858-1 (parte 1) e a NBR 13.858-2 (parte 2), seguindo a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 13858-2:2007 Emenda 1:2009). A Figura 11 apresenta o molde de resina epóxi utilizado para confecção das telhas de concreto, com as características geométricas gerais e do perfil da telha de concreto indicadas nas Tabelas 2 e 3.

Figura 11. Molde confeccionado utilizado para obtenção das telhas de concreto.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Tabela 2. Características geométricas gerais da telha de concreto

<i>Características</i>	<i>Valores e limites (mm)</i>
Projeção horizontal	420 x 330
Comprimento útil	320 (+1 e -2)
Comprimento total	420 (+1 e -2)
Espessura	≥ 10

Fonte: ABNT NBR 13858-2:2007 Emenda 1:2009

Tabela 3. Características geométricas do perfil da telha de concreto

<i>Características transversais</i>	<i>Valores e limites (mm)</i>
Altura	Em função do tipo do perfil
Largura total	330 (+2 e -2)
Largura útil	300 (+2 e -1)
Sobreposição lateral mínima	28
Sobreposição longitudinal mínima	100

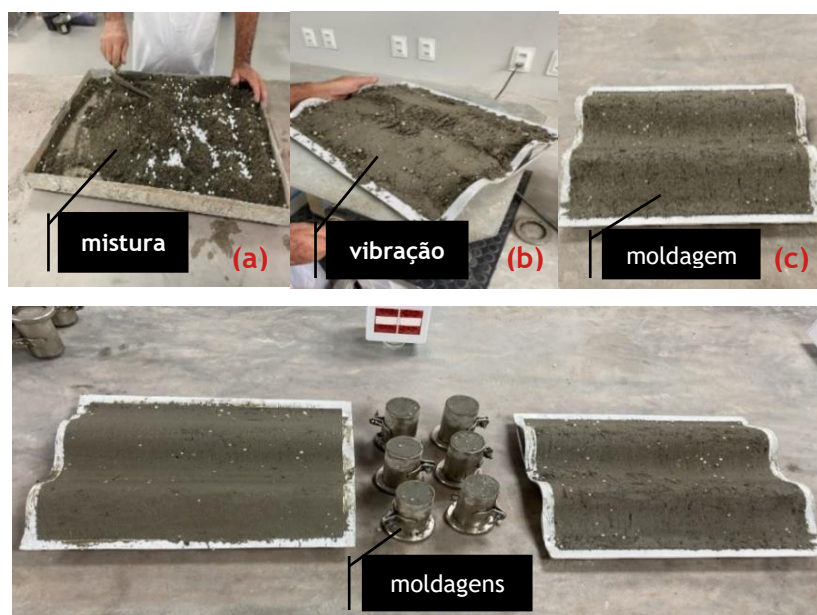
Fonte: ABNT NBR 13858-2:2007 Emenda 1:2009

Nos procedimentos de moldagem, desmoldagem e cura, dos corpos de provas cilíndricos, foram seguidas as orientações da ABNT NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. A norma recomenda que os moldes devem ser de aço ou material não absorvente e que não reaja com o cimento Portland, resistentes, mantendo sua forma durante a operação de moldagem; deve ser aberto na face superior, com o fundo e a lateral estanques quando fechados, e de fácil desmoldagem, para não danificar o corpo de prova. A base do molde deve ser plana, com uma tolerância de 0,05 mm.

Para a moldagem dos corpos de prova foi feita uma prévia mistura dos materiais, cimento, areia, adição e/ou substituição de esferas de EPS, a fim de garantir a uniformidade da mistura. Posteriormente, mistura foi introduzida dentro do molde, com a quantidade de camadas e golpes para adensamento dos corpos de prova cilíndricos seguindo norma NBR 5738:2015.

A Figura 12 mostra as etapas realizadas na obtenção das telhas e dos corpos de provas cilíndricos.

Figura 12. Etapas da fabricação das telhas de concreto: (a) mistura, (b) vibração e (c) moldagem



Fonte: Próprio autor, 2024.

Os moldes cilíndricos produzidos neste trabalho, para os ensaios para determinação de resistência à compressão, apresentam 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, em atendimento as normas vigentes, que indicam que os moldes cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. Antes da moldagem, todos os moldes forem revestidos com uma fina camada de óleo mineral.

A quantidade de camadas e golpes de adensamento usada durante a moldagem foi definida de acordo com as dimensões dos corpos de prova e o tipo de adensamento (manual ou mecânico). Os golpes foram aplicados uniformemente na seção transversal do corpo de prova, tendo-se o cuidado de não golpear a base do molde, na primeira camada. Já nas demais camadas, o adensamento ocorreu em toda sua espessura e a haste penetrou em, aproximadamente, 2 cm da camada anterior. Durante o processo de moldagem, foi aplicado batidas leves na face externa do molde para que os vazios ocasionados pelo adensamento sejam fechados. A última camada foi moldada com uma quantidade de concreto de forma que exceda o volume do molde, para realização do rasamento com uma régua metálica, sem adicionar material após o adensamento.

Após obtenção dos corpos de prova, os moldes foram posicionados na bancada plana e seca do laboratório, e permaneceu durante 24 horas, e protegido do sol, respingos d'água e vibrações ou contatos. A Figura 13 mostra as imagens das telhas e dos corpos cilíndricos moldados.

Figura 13. Corpos de prova em processo de conformação

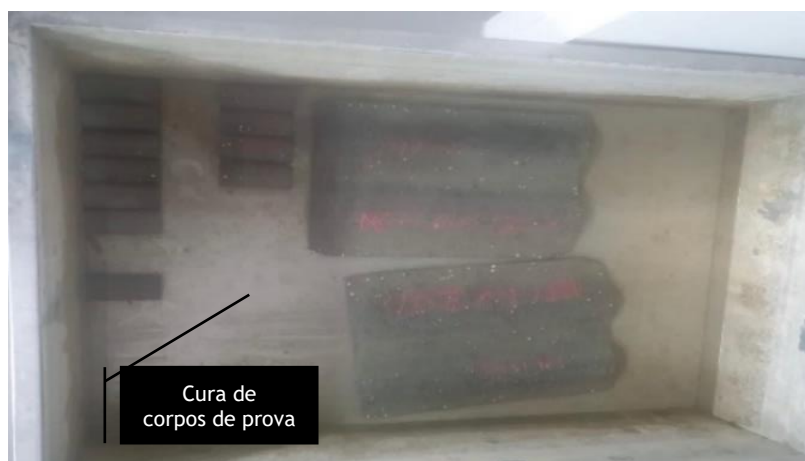


Fonte: Próprio autor, 2024.

Após a moldagem, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e submetidos à cura por no mínimo 24 horas, sendo acondicionados em câmara úmida em temperatura ambiente e umidade relativa do ar superior a 95%.

Os corpos de prova ficaram protegidos de gotejamentos e da ação movimentação da água, conforme pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14. Processo de cura dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor, 2024.

Durante o processo de cura, as telhas e os corpos de prova cilíndricos, se tornaram mais resistentes, o suficiente para serem posteriormente transportadas e analisadas com relação às suas características geométricas, e submetidas aos ensaios de absorção de água, de permeabilidade e de carga de ruptura à flexão.

3.2.4 Ensaios físicos e mecânicos

Com relação aos ensaios físicos, a Norma NBR 13.858 prescreve os ensaios especificados para as telhas de concreto tais como, empenamento, absorção de água, permeabilidade e carga de ruptura à flexão. Os critérios de desempenho para esses ensaios são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Critérios de desempenho para os ensaios empenamento, absorção de água, permeabilidade, carga de ruptura à flexão

ANEXO	Ensaio	Critérios de desempenho
A	Empenamento	Quando apoiada sobre um plano horizontal, com sua face inferior voltada para baixo, o afastamento entre o plano e qualquer ponto de contato não deve exceder 3 mm;
B	Absorção de água	A absorção de água da telha não deve ser superior a 10%
C	Permeabilidade	A telha não deve apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, sendo, porém, tolerado o aparecimento de manchas de umidade.
D	Carga de ruptura à flexão	Não deve ser inferior à 2500N (250 kgf)

Fonte: ABNT NBR 13858-2:2007

3.2.4.1 Empenamento

O ensaio de empenamento das telhas foi realizado através da folga entre um dos pontos de apoio da telha e uma superfície plana e horizontal, em atendimento ao “Anexo A” da NBR 13858-2.

3.2.4.2 Absorção da água e redução de peso após adição/substituição de EPS

Para o cálculo da absorção de água (AA, em %) foi utilizada a técnica de imersão do corpo de prova – telha de concreto (amostra), submerso em água, por 24 h, à temperatura ambiente. Após imersão por 24 h e retirada do excesso de água da superfície, pesou-se a massa da amostra inicial úmida (M_u , em kg); em seguida, o corpo de prova submete-se a secagem em estufa, a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, por 24 h, pesou-se a massa da amostra seca (M_s , em kg). Por fim, calcula a absorção de água (AA, em %), para cada corpo de prova, como sendo a relação da diferença da massa da amostra inicial úmida (M_u , em kg) com a massa da amostra seca (M_s), dividido pela massa da amostra seca (M_s), multiplicado por 100.

Foi calculada a redução de peso das telhas de concreto com EPS com relação às telhas de concreto sem EPS.

3.2.4.3 Permeabilidade

O ensaio de permeabilidade seguiu os procedimentos indicados pela norma NBR 13858-2. Utilizou-se um tubo com seção circular reto, aberto nas extremidades, transparente ou translúcido, devidamente, vedado, com diâmetro interno de 35 mm, aproximadamente, altura suficiente para formar uma coluna d'água de 250 mm, perpendicular ao corpo de prova (telha de concreto) na região do canal da superfície que fica mais exposta às intempéries.

O ensaio foi mantido por 24 horas, em temperatura ambiente (Figura 15).

Figura 15. Ensaio de permeabilidade das telhas de concreto



Fonte: Próprio autor, 2024.

3.2.4.4 Ensaio mecânico de resistência à flexão

Para realização do ensaio mecânico de resistência à flexão, as telhas de concreto leve produzidas foram previamente imersas em água por 24 h. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Shimadzu (Figura 16).

Na máquina, a telha foi posicionada sobre barras de apoio de aço (seção circular de 38 mm de diâmetro e comprimento de 380 mm), fixas e centralizadas, transversalmente, com carga centralizada e progressiva, operando com uma velocidade de 100 N/s (Figura 16).

A carga de ruptura foi expressa em “N” (newton) e as espessuras em “mm” (milímetro) com uma casa decimal, em atendimento ao “Anexo D” da norma NBR 13858-2.

O ensaio foi executado para as telhas curadas por 28 dias.

Figura 16. Ensaio mecânico de resistência à flexão



Fonte: Próprio autor, 2024

3.2.4.5 Ensaio mecânico de resistência à compressão

Para o ensaio mecânico de resistência à compressão foi utilizada uma prensa hidráulica, com capacidade de 100 Tf, da marca SOLOTEST (Figura 17). Foram ensaiados corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5739. Após o período de cura, as bases dos corpos de prova foram preparadas para garantir a planicidade e a perpendicularidade com o eixo longitudinal do corpo de prova. Os corpos de prova foram mantidos em processo de cura úmida em conformidade da NBR 5738.

O ensaio foi executado para os corpos cilíndricos curados por 3, 7 e 28 dias. O ensaio para determinação da resistência à compressão axial seguiu as diretrizes da norma ABNT NBR 5739:2018.

O carregamento de ensaio foi aplicado continuamente e cessou após a ruptura do corpo de prova. A resistência à compressão foi obtida dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova.

A resistência à compressão axial foi expressa em MPa.

Figura 17. Ensaio mecânico de resistência à compressão



Fonte: Próprio autor, 2024

3.2.5 Análise microestrutural das telhas

As telhas produzidas foram analisadas por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura.

A análise de microscopia ótica foi realizada pelo Microscópio Óptico OLYMPUS Modelo BX41M – LED.

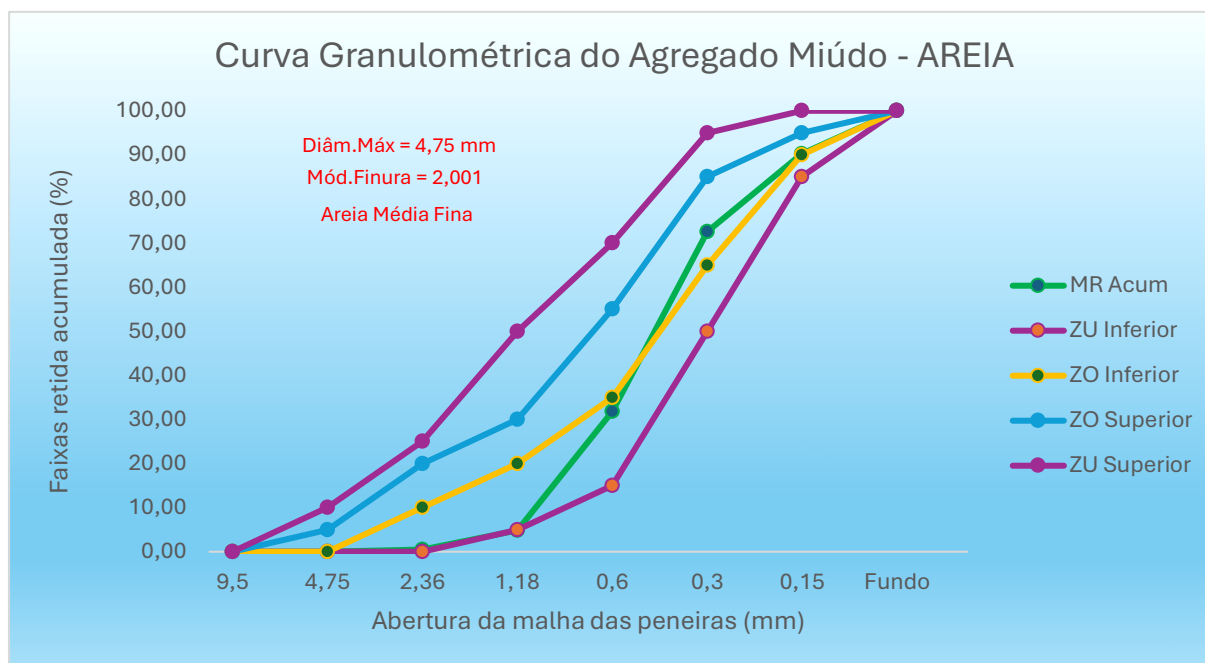
A análise de microscopia eletrônica de varredura foi realizada em equipamento da marca TESCAN VEGA, modelo S5123, e acelerador com voltagem 10 KV. A preparação do corpo cerâmico envolveu a diminuição de suas dimensões e a deposição de uma fina película de ouro sobre as superfícies a serem analisadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas das matérias-primas

A Figura 18 apresenta o gráfico da curva granulométrica da areia, considerando a massa retida acumulada (MR) e os limites inferior e superior - zonas utilizável e ótima (ZU e ZO).

Figura 18. Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Próprio autor, 2024.

* O módulo de finura da zona ótima (ZO) varia de 2,20 a 2,90.

* O módulo de finura da zona utilizável (ZU) inferior varia de 1,55 a 2,20.

* O módulo de finura da zona utilizável (ZU) superior varia de 2,90 a 3,50.

De acordo com a curva apresentada na Figura 18, observa-se que o diâmetro máximo obtido para agregado miúdo foi de 4,75 mm, enquanto o módulo de finura o valor determinado foi de 2,001 (zona utilizável inferior), portanto, o agregado utilizado neste trabalho pode ser classificado como “areia média fina”. Cabe considerar que, de acordo com a norma NBR NM 248, o diâmetro máximo é a percentagem retida até 5% (se a menor percentagem retida ficar acima de 5%, o diâmetro máximo será imediatamente o da peneira de tamanho superior) e o módulo de finura é a soma das percentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras de série normal (sem o fundo) dividida por 100.

As diferentes características granulométricas das matérias-primas utilizadas neste trabalho, também, podem contribuir com o fator de empacotamento dos materiais desenvolvidos com formulações envolvendo essas matérias-primas.

A Tabela 5 apresenta os resultados da massa específica e massa unitária da areia, do cimento e do EPS, o tempo de pega do cimento, além da resistência mínima à flexão e a resistência a compressão do EPS.

Tabela 5. Resultados das propriedades físicas da areia, do cimento e do EPS

Propriedades	Areia	Cimento	EPS
Massa específica (g/cm ³)	2,59	3,03	0,01 (*)
Massa unitária (g/cm ³)	1,57	0,89	0,00841
Tempo de pega inicial (min)	-	49	-
Tempo de pega final (min)	-	156	-
Resistência mínima à flexão (kPa)	-	-	> 50 (*)
Resistência à compressão (kPa)	-	-	33 (*)

(*) Dados do fabricante

4.2 Análise mineralógica e química

As Figuras 19 e 20 apresentam os difratogramas de raios X (DRX) da areia e do cimento, respectivamente.

Figura 19. DRX da areia

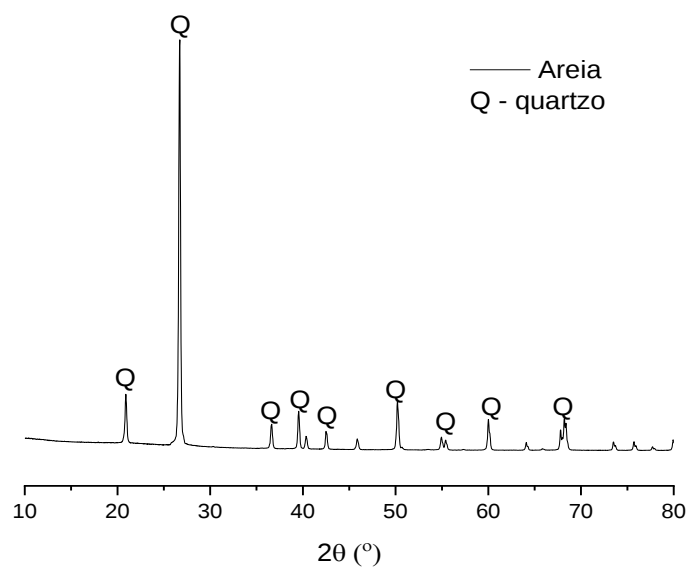
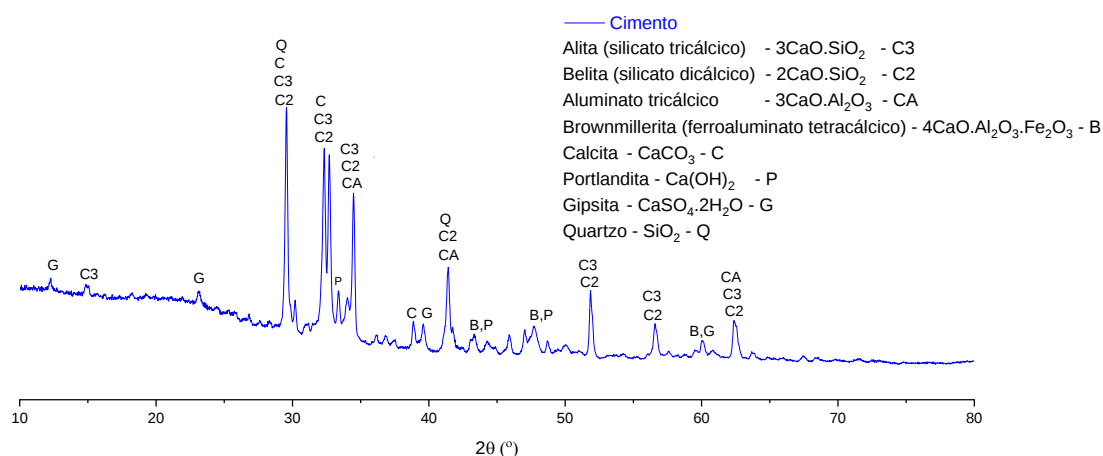


Figura 20. DRX do cimento



Na Figura 19, observa-se que a areia apresentou, apenas, o mineral quartzo predominante.

Na Figura 20 observa-se a presença da alita (C3S - silicato tricálcico), belita (C2S - silicato dicálcico), aluminato tricálcico, brownmillerita (ferroaluminato tetracálcico - C4AF), calcita, portlandita, gipsita e quartzo na amostra de cimento. Sabe-se que a alita é responsável pela resistência do concreto em todas as idades, mas principalmente, nas idades iniciais, liberando calor após a aplicação. A belita é responsável pela resistência final do concreto.

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise química da areia e do cimento obtidos por fluorescência de raios X (FRX), quantificados em percentual de seus constituintes principais na forma de óxidos.

Tabela 6. Composição química da areia e do cimento

Óxidos	Areia (%)	Cimento (%)
Al_2O_3	2,435	4,173
CaO	-	70,293
Fe_2O_3	0,425	3,810
K_2O	-	1,660
MgO	-	1,550
SiO_2	94,311	13,645
SO_3	0,268	4,429
TiO_2	1,320	0,300
Outros óxidos	1,241	0,140

De acordo com a Tabela 6, observa-se que os principais óxidos que compõem a areia são óxido de silício (SiO_2) e o óxido de alumínio (Al_2O_3). Já para o cimento, os principais óxidos são óxido de cálcio (CaO), óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de enxofre (SO_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3).

Confrontando os resultados obtidos por DRX e FRX, observa-se que os componentes químicos determinados no ensaio de FRX podem ser confirmados na análise por DRX e estão presentes nas suas fórmulas mineralógicas.

4.3 Propriedades físicas e mecânicas das telhas de concreto

4.3.1 Empenamento

Os resultados do ensaio de empenamento das telhas, realizado conforme norma da NBR 13858-2, teve como resultado o atendimento aos requisitos mínimos da norma.

4.3.2 Absorção da água e redução de peso após adição/substituição de EPS

Com base nos resultados dos ensaios de absorção de água das telhas de concreto, observa-se na Tabela 7 que o menor percentual de absorção da água determinado entre as telhas estudadas foi de 5,71%, enquanto o maior percentual foi de 6,76%, atendendo assim os requisitos do “Anexo B” da NBR 13858-2, preestabelecidos, ou seja, as telhas de concreto não devem ter absorção de água superior a 10%.

Tabela 7. Absorção de água e redução de peso após adição/substituição de EPS

Norma	Telhas de concreto	Amostra Úmida Mu (Kg)	Amostra Seca Ms (Kg)	Absorção de água AA (%)	Redução de peso (%)
NBR 13858-2 (Anexo B)	Referência, Telha de concreto com 0% de EPS – T0	6,44	6,04	6,61	-
	Telha com substituição de 15% de esferas EPS – TS15	5,81	5,45	6,64	9,77
	Telha com adição de 15% de esferas EPS – TA15	6,08	5,76	5,71	4,64
	Telha com substituição de 20% de esferas EPS – TS20	5,74	5,38	6,76	10,93
	Telha com adição de 20% de esferas EPS – TA20	5,68	5,37	5,75	11,10

Comparando os dados de absorção de água da telha com 0% de EPS com os dados das telhas com adição ou substituição do agregado miúdo pelo EPS, observa-se que não ocorreu modificação significativa na absorção de água das telhas.

A redução de peso das telhas, comparando com a telha com 0% de EPS, após adição/substituição com EPS variou de 4,64% e 11,10%. O teor de 20% de EPS proporcionou uma maior leveza das telhas, o que já era esperado, visto a adição de um componente mais leve nas formulações das telhas.

As telhas de concreto com substituição de 15% e 20% em esferas de EPS, em volume, tiveram maiores percentuais de absorção de água, esse fato se deve provavelmente ao aumento da porosidade presente na microestrutura formada quando o agregado miúdo (areia) é substituído em parte pelo EPS.

Segundo RANJBAR e MOUSAVI (2015), os concretos leves têm índice de absorção de água superior a 8% e o concreto com EPS apresenta absorção entre 2,8% e 6,9%. Os dados das telhas produzidas se enquadram nessa faixa de absorção.

4.3.3 Permeabilidade

Após os resultados para verificação da permeabilidade nas telhas de concreto através da pressão de coluna d'água, constatou-se que as telhas de concreto, sem e com EPS, não apresentaram vazamentos nem formações de gotas nas faces inferiores, atendendo os requisitos do “Anexo C” da NBR 13858-2 (Figura 21).

Figura 21. Telhas de concreto (TC) durante o ensaio de permeabilidade



TC após submeter a estufa por 24h

TC seca a temperatura ambiente

TC úmida, após ensaio por 24h

4.3.4 Resistência à flexão das telhas

A Tabela 8 apresenta os resultados relativos à carga de ruptura à flexão das telhas de concreto estudadas.

Tabela 8. Carga de ruptura à flexão das telhas de concreto

Normativa	Corpo de Prova	Carga de Ruptura à Flexão – Após 28 dias newton (N)	
NBR 13858-2 Anexo D	Referência - Telha de concreto com 0% de esferas EPS – T0	2900	Normativa: Carga de ruptura à flexão ≥ 2500 N
	Telha de concreto com substituição de 15% de esferas EPS – TS15	2700	
	Telha de concreto com adição de 15% de esferas EPS – TA15	2800	
	Telha de concreto com substituição de 20% de esferas EPS – TS20	2500	
	Telha de concreto com adição de 20% de esferas EPS – TA20	2600	

Observa-se que as telhas de concreto apresentaram cargas de rupturas à flexão variando, em newton (N), de 2500 N (telha de concreto com substituição de 20% de esferas EPS) a 2900 N (telha de concreto sem EPS), aos 28 dias. Nessas condições, após introdução do EPS nas formulações, ocorreu uma redução máxima de 13,8% na resistência à flexão. Verificou-se, ainda, que quanto maior o teor de EPS menor a resistência à flexão, possivelmente, pela maior quantidade de imperfeições introduzidos na telha. As telhas estudadas apresentaram carga de ruptura à flexão acima ou igual a 2500 N (NBR 13858-2).

MULLER e SCHNEIDER (2018) estudaram a viabilidade técnica da utilização de telhas de concreto leve com adição de EPS como agregado miúdo, adicionando EPS nos teores de 25%, 35% e 50% às formulações. As telhas produzidas apresentaram cargas de ruptura inferiores à 1900 N, portanto não apresentaram conformidade à norma NBR 13858-2.

Diante de dados da literatura pode-se concluir que os teores de EPS estudados (15% e 20%) são promissores para a aplicação como agregado leve em composições de telhas cimentícias.

4.3.5 Resistência mecânica à compressão

A Tabela 9 apresenta os dados de tensão de ruptura à compressão e carga de ruptura à compressão dos corpos cilíndricos obtidos com as formulações cimentícias estudadas.

Tabela 9. Resistência mecânica à compressão dos corpos cilíndricos

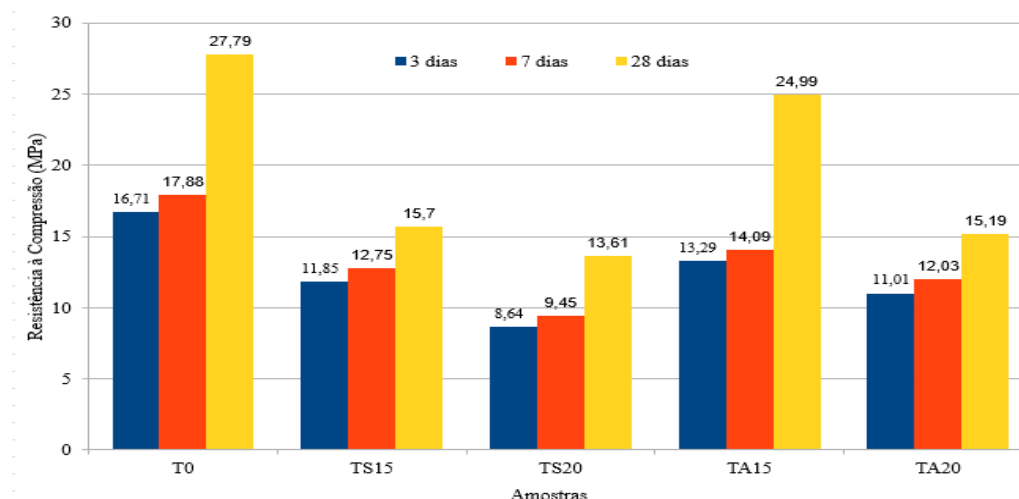
Normativa	Corpo de Prova	Resistência à compressão (MPa)		
		Idade 3 dias	Idade - 7 dias	Idade - 28 dias
NBR 5738 e NBR 5939	Referência Corpo cilíndrico com 0% de EPS (T0)	16,71	17,88	27,79
	Corpo cilíndrico com substituição de 15% de esferas EPS (TS15)	11,85	12,75	15,70
	Corpo cilíndrico com adição de 15% de esferas EPS (TA15)	13,29	14,09	24,99
	Corpo cilíndrico com substituição de 20% de esferas EPS (TS20)	8,63	9,45	13,61
	Corpo cilíndrico com adição de 20% de esferas EPS (TA20)	11,01	12,03	15,19

Analisando os dados da Tabela 9, observa-se que os corpos cerâmicos com e sem EPS, após três dias de cura, apresentaram tensão de ruptura à compressão variando de 8,63 MPa (corpos cilíndricos com substituição da areia por 20% de EPS) a 16,71 MPa (corpos cilíndricos sem EPS), nessas condições ocorreu uma redução máxima na resistência mecânica à compressão de 48,36%, após introdução de EPS nas formulações. Após sete dias de cura, apresentaram tensão de ruptura à compressão variando de 9,45 MPa (corpos cilíndricos com substituição da areia por 20% de EPS) a 17,88 MPa (corpos cilíndricos sem EPS), nessas condições ocorreu uma redução máxima na resistência mecânica à compressão de 47,15%, após introdução de EPS nas formulações. Após vinte e oito dias de cura, apresentaram tensão de ruptura à compressão variando de 13,61 MPa (corpos cilíndricos com substituição da areia por 20% de EPS) a 27,79 MPa (corpos cilíndricos sem EPS), nessas condições ocorreu uma redução máxima na resistência mecânica à compressão de 48,97%, após introdução de EPS nas formulações.

Verifica-se que a adição/substituição por EPS proporciona redução da resistência mecânica confirmando dados da literatura (BABU *et al.*, 2006).

A Figura 22 apresenta o comportamento da resistência à compressão dos corpos cilíndricos com diferentes percentuais de EPS, adicionado ou substituído, representado graficamente. Observa-se, ainda, que a média da resistência mecânica aumentou com o decorrer dos dias de cura, independentemente, das telhas com (TS15, TS20, TA15, TA20) e sem adição de EPS (T0), podendo ser considerado um comportamento esperado, uma vez que a cura proporciona uma melhora significativa nas propriedades mecânicas de materiais cimentícios.

Figura 22. Gráfico comparativo da resistência mecânica à compressão dos corpos cilíndricos sem e com diferentes percentuais de EPS adicionado e substituído.

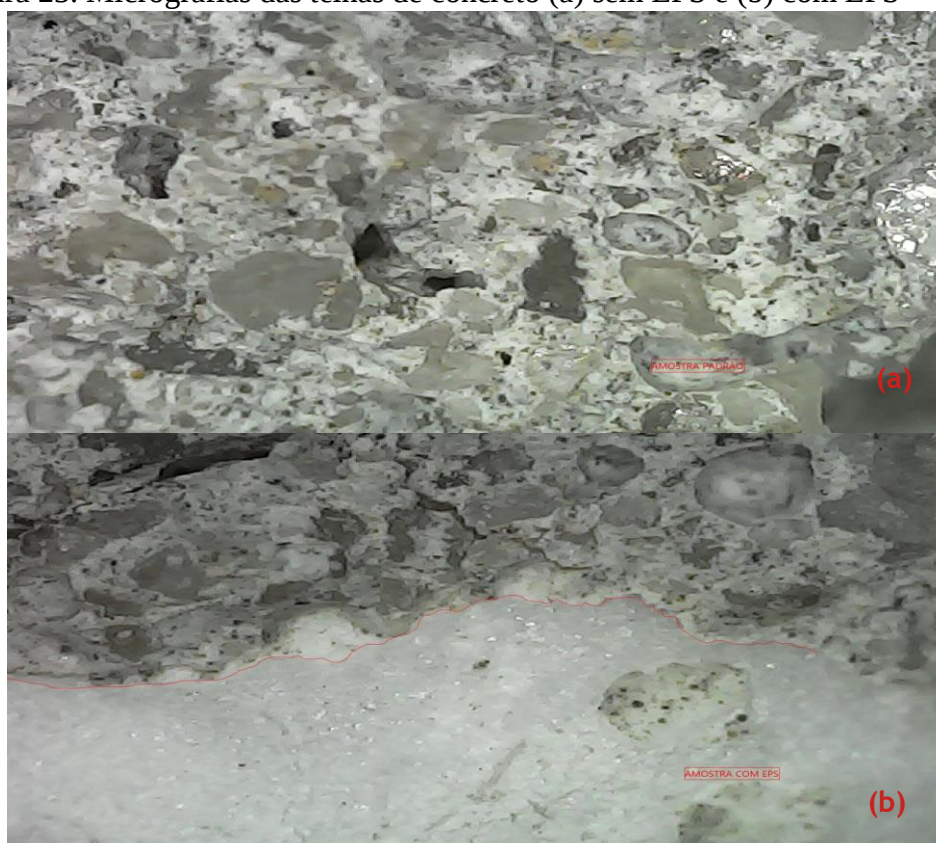


Os resultados apresentados para resistência à compressão são similares aos apresentados por OZÓRIO (2016), nas formulações semelhantes ao referido estudo.

4.4 Análise microestrutural das telhas

A Figura 23 apresenta as imagens comparativas da matriz cimentícia das telhas de concreto sem e com EPS, obtidas por microscopia ótica.

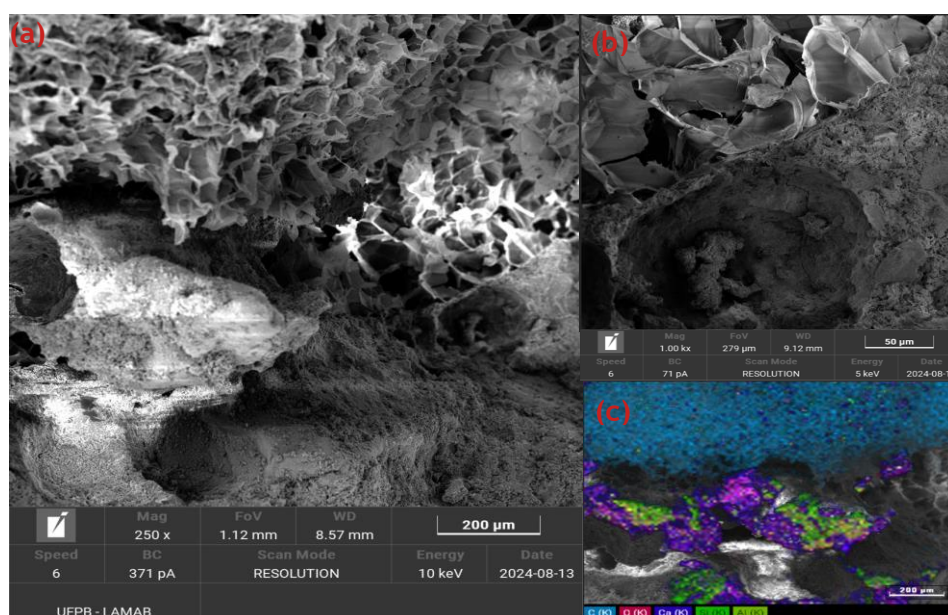
Figura 23. Micrografias das telhas de concreto (a) sem EPS e (b) com EPS



As imagens obtidas por microscopia ótica permitem visualizar o EPS na matriz cimentícia. Observa-se que, na região apresentada, o EPS está bem aderido à matriz cimentícia, não apresentando vazios/espacos aparentes na interface que une esses materiais. Contudo, devido à natureza hidrofóbica e a baixa densidade do EPS, os concretos de EPS podem apresentar problemas de aderência entre a matriz cimentícia e o EPS, gerando estruturas não homogêneas e comprometendo a durabilidade da telha.

A Figura 24 apresenta as imagens da fronteira entre a matriz cimentícia das telhas de concreto com EPS, obtidas por microscopia eletrônica de varredura.

Figura 24. Fronteira entre a matriz cimentícia e o EPS da telha de concreto: (a) micrografia com ampliação de 250x; (b) micrografia com ampliação de 1000x; (c) distribuição química dos elementos na micrografia com 250x.



Fonte: Próprio autor, 2024.

De acordo com Figura 24a, observa-se na imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura, com magnitude de 250x, que a amostra apresenta morfologia heterogênea e que a junção entre o EPS e a matriz cimentícia está bem definida, gerando, possivelmente, uma zona de transição entre os diferentes tipos de materiais. O EPS é visto na parte superior da imagem e apresenta uma texturização aberta do tipo “favo de mel” separadas umas das outras por películas finas, bem diferente da matriz cimentícia que apresenta uma textura rugosa, que pode ser melhor visualizada na ampliação da imagem em 1000x, conforme Figura 24b. O uso de espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDS) possibilitou a análise qualitativa dos

elementos, carbono (azul-claro), cálcio (azul-escuro) silício (verde-escuro), alumínio (verde-claro) presentes na amostra. Observa-se na Figura 24c que o carbono está todo concentrado na parte superior da amostra, característico do EPS. Já os outros elementos (Ca, Si e Al) estão distribuídos na matriz cimentícia.

As micrografias apresentaram características semelhantes à de outros autores, como os trabalhos desenvolvidos por LAUKAITIS *et al.* (2005) e FERRÁNDIZ-MAS; GARCÍA-ALCOCEL (2012).

5 CONCLUSÃO

Com o objetivo de produzir telhas de concreto com utilização de EPS, como agregado leve nas suas formulações, e estudar o efeito desse agregado nas propriedades tecnológicas das telhas obtidas foi possível chegar às seguintes conclusões.

Em geral, os resultados dos ensaios físicos e mecânicos das telhas produzidas atendem requisitos da NBR 13858-2.

A adição de 20 % de EPS nas formulações proporcionou maior leveza às telhas de concreto estudadas, apresentando redução de peso de 11,10 % com relação às telhas sem adição de EPS.

Verifica-se que a adição/substituição por EPS proporciona redução da resistência mecânica, mas não compromete a qualidade das telhas produzidas.

Os teores de EPS estudados nessa pesquisa (15% e 20%) são promissores para a aplicação como agregado leve em composições de telhas cimentícias.

De maneira geral, as propriedades encontradas para as telhas de concreto com EPS foram satisfatórias e estão de acordo com as normas, podendo, assim, serem utilizadas na indústria da construção civil, tendo como principal vantagem uma maior leveza com relação às telhas de concreto convencionais e, possivelmente, melhor isolamento térmico.

REFERÊNCIAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do Índice de Finura por Meio da Peneira 75 μm (nº 200).

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 11752: Materiais Celulares de Poliestireno para Isolamento Térmico na Construção Civil e em Câmaras Frigoríficas.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13858-1 - Telhas de Concreto - Parte 01: Projeto e Execução de Telhados. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13858-2: Telhas de Concreto - Parte 02: Requisitos e Métodos de Ensaio. 2.ed. Rio de Janeiro.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13858-2:2007 (Emenda 1:2009) - Telhas de Concreto. Características Geométricas Gerais da Telha de Concreto.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13858-2:2007 (Emenda 1:2009) – Telhas de Concreto. Ensaio da Telha de Concreto.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16605 - Cimento Portland e Outros Materiais em Pó — Determinação da Massa Específica.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16972 - Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Índice de Vazios.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5738:2003; Emenda 2008. Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura dos Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2003/2008.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5739:2018. Concreto - Ensaio de Compressão em Corpos de Prova Cilíndricos.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7215 - Determinação da Resistência à Compressão.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9776:1987 - Agregados - Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por Meio do Frasco Chapman.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 23 - Cimento Portland e Outros Materiais em Pó: Determinação da Massa Específica.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 23:2001 - Cimento Portland e Outros Materiais em Pó - Determinação da Massa Específica.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 248:2003 - Determinação da Composição Granulométrica.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 45:2006 - Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios.

ASSAAD, J.J.; CHAKAR E.; ZEHIL G.P., Testing and modeling the behavior of sandwich lightweight panels against wind and seismic loads, Eng. Struct. 175 (15) 457–466 (2018).

BABU, D.S.; BABU, K.G.; TIONG-HUAN, W., Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete, Cement and Concrete Composites, 28 (6) 520-527 (2006).

BHUTTA, M.A.R.; OHAMA, Y.; TSURUTA, K., Strength properties of polymer mortar panels using methyl methacrylate solution of waste expanded polystyrene as binder, Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, 25 (2) 779–784 (2011).

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E., Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil, Cerâmica 61 (358) 178-189 (2015).

CALLEJAS, I.J.A.; BUTINHONI, G.F., Desempenho físico e mecânico de telhas cimentícias produzidas com incorporação de resíduo de polietileno tereftalato, Engenharia Sanitária e Ambiental, 27 (6) 1145-1153 (2022).

CATOIA, T., Concreto ultraleve estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CHEN, B.; LIU, J., Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete. *Construction and Building materials*, 68, 227-232 (2014).

CHEN, B.; LIU, J., Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber, *Cement and Concrete Research*, 34 (7) 1259–1263 (2004).

DAMASCENO, F.A.; MACEDO, O.A.P.; OLIVEIRA, J.L.; OLIVEIRA, C.E.A.; BRANDÃO, L.F., Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes, *Engenharia na agricultura*, 23 (5) 406-417 (2015).

FATHI, M.; YOUSEFIPOUR, A.; FAROKHY, E.H., Mechanical and physical properties of expanded polystyrene structural concretes containing micro-silica and nanosilica, *Construction and Building Materials*, 136, 590–597 (2017).

FERRÁNDIZ-MAS, V.; GARCÍA-ALCOCEL, E. Physical and mechanical characterization of Portland cement mortars made with expanded polystyrene particles addition (EPS). *Materiales de Construcción*, 62, 547-566 (2012).

GONÇALVES, P.; VASCONCELOS, R. Avaliação térmica, física e mecânica de blocos de concreto com poliestireno expandido reciclado. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 19 (4) 249-269 (2019).

HERKI, B.A.; KHATIB, J.M., Valorisation of waste expanded polystyrene in concrete using a novel recycling technique, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21 (11) 1384-1402 (2016).

JESUS, L.C.C.; LUZ, S.M.; LEÃO, R.M., ZATTERA, A. J., AMICO, S.C., Comportamento térmico de compósitos de poliestireno reciclado reforçado com celulose de bagaço de cana. *Revista Matéria*, 24 (3) 2019.

LAKSHMIKANDHAN, K.N.; HARSHAVARDHAN, B.S.; PRABAKAR, J.; SAIBABU, S., Investigation on wall panel sandwiched with lightweight concrete, ICMAEM- 2017, Mater Sci Eng, 225, 1–15 (2017).

LAUKAITIS, A.; ŽURAUSKAS, R.; KERIEN, J., The effect of foam polystyrene granules on cement composite Properties, Cement and Concrete Composites, 27, 41-47 (2005).

MOUTASSEM, F., Ultra-lightweight EPS concrete: mixing procedure and predictive models for compressive strength, Civil Engineering and Architecture, 8 (5) 963 – 972 (2020).

MULLER, H. M. B.; SCHNEIDER, K. W. S., Análise de viabilidade técnica da utilização de telhas de concreto leve com adição de EPS como agregado miúdo em SINOP- MT, Revista CONSTRUINDO, 10 (2) 76 – 103 (2018).

MUNIZ-GÄAL, L.P.; PEZZUTO C.C.; CARVALHO, M.F.H.; MOTA, L.T.M., Eficiência térmica de materiais de cobertura, Ambiente construído, Porto Alegre, 18 (1) 503-518 (2018).

PEIXOTO, R.A.F.; TINOCO, I.F.F.; SARAZ, J.O. ; PAULA, M.O. ; GATES, R., Elaboración y evaluación de tejas de concreto en arcilla expandida para uso como coberturas de estructuras pecuárias, Revista Facultad Nacional de Agronomía, 65 (2) 5651-5660 (2010).

OLIVEIRA, D.F.; SANTOS, V.S.; LIRA, H.L.; MELO, A.B.; NEVES, G.A., Durabilidade de compósitos de concreto de cimento portland produzidos com agregados reciclados da construção civil. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 1 (2) 30-36 (2006).

OLIVEIRA, A. M. S.; GONZAGA, L. G. M.; RIBEIRO, D. F., Uso do poliestireno expandido como agregado em concreto leve: conceituação, aplicações e estado da arte, Revista Vértices, 20 (3) 293–303 (2018).

OZÓRIO, B.P.M., Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas, Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

RANJBAR, M.M; MOUSAVI, S. Y. Strength and durability assessment of self compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene, *Materials and Structures*, 48 (4) 1001-1011 (2015).

RAVINDRARAJAH, R. S; TUCK, A. J., Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads, *Cement and Concrete Composites*, 16 (4) 273-277 (1994).

SAVASTANO JUNIOR, H.; AGOPYAN, V.; NOLASCO, A.M. ; PIMENTEL, L.L., Plant fibre reinforced cement components for roofing, *Construction & Building Materials*, 13 (6) 433-438 (1999).

SILVA, J.E.O., Desenvolvimento de cerâmica vermelha utilizando rejeitos da construção Civil (Dissertação de Mestrado) – Orientador: Wilson Achar, UFRN, 2007.

WANG, J.; Hu, B.; SOON J.H., physical and mechanical properties of a bulk lightweight concrete with expanded polystyrene (EPS) beads and soft marine clay, *Materials*, 12 (10) 1662 (2019).

XU Y.; JIANG, L.; LIU, J.; ZHANG, Y.; XU J.; HE G., Experimental study and modeling on effective thermal conductivity of EPS lightweight, *Journal of Thermal Science and Technology*, 11 (2), (2016).

YOUMNA A.Y. A.; FAHMY E.H.A., ABOUZEID M.N., SHAHEEN Y.B.I., MOOTY M.N.A., Use of expanded polystyrene wastes in developing hollow block masonry units, *Construction and Building Materials*, 241, 118149 (2020).