



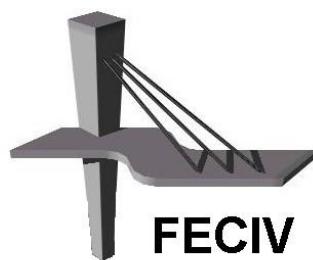
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DE CONCRETO COM POLIESTIRENO
EXPANDIDO RECICLADO**

CARLOS HENRIQUE REZENDE CARVALHO

UBERLÂNDIA, (29 de setembro de 2017)



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Carlos Henrique Rezende Carvalho

**ESTUDO DE CONCRETO COM POLIESTIRENO
EXPANDIDO RECICLADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof. Dra. Leila Aparecida de Castro Motta

Uberlândia, (29 de setembro de 2017)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C331e Carvalho, Carlos Henrique Rezende, 1986-
2017 Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado / Carlos
Henrique Rezende Carvalho. - 2017.
62 f. : il.

Orientadora: Leila Aparecida de Castro Motta.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.270>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Concreto - Teses. 3. Poliestireno -
Teses. 4. Concreto - Aditivos - Teses. I. Motta, Leila Aparecida de
Castro, . II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624

Maria Salete de Freitas Pinheiro – CRB6/1262



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

ATA Nº: 196/2017

CANDIDATO: Carlos Henrique Rezende Carvalho

Nº. Matrícula: 11522ECV004

ORIENTADOR: Prof.^a Dr.^a Leila Aparecida de Castro Motta

TÍTULO: "Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estruturas e Construção Civil

LINHA DE PESQUISA: Construção Civil

PROJETO DE PESQUISA: Inovação em Materiais de Construção Civil

DATA DA DEFESA: 29 de setembro de 2017

LOCAL: Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y.

HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO: 14h / 16h

Reuniu-se na **Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGEC, assim composta pelos Professores Doutores: **Andrielli Moraes de Oliveira – FECIV/UFU; Heber Martins de Paula – DECIV/UFG e Leila Aparecida de Castro Motta** orientadora do candidato. Ressalta-se que todos os membros da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa **Prof.^a Dr.^a Leila Aparecida de Castro Motta** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato APROVADO. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.

Professor Orientador: **Prof.^a Dr.^a Leila Aparecida de Castro Motta – FECIV/UFU**

Leila Martins de Paula

Membro externo: **Prof. Dr. Heber Martins de Paula – DECIV/UFG**

Andrielli M. de Oliveira

Membro interno: **Prof.^a Dr.^a Andrielli Moraes de Oliveira – FECIV/UFU**

Uberlândia, 29 de SETEMBRO de 2017.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por ser tudo que eu preciso.

À toda minha família em especial a minha mãe e meus irmãos, agradeço pelo carinho e compreensão especialmente durante essa jornada e ao meu pai que mesmo longe está muito feliz por essa conquista.

Deixo aqui os meus reais agradecimentos à professora orientadora Doutora Leila Aparecida de Castro Motta, primeiramente pelo incentivo, pela sua disposição e conhecimentos, que foram essenciais para a elaboração deste trabalho.

Aos professores, mestres e doutores da Faculdade de Engenharia Civil da UFU, que a mim repassaram seus conhecimentos, fazendo com que meu desenvolvimento fosse o melhor possível.

À Cristiane, por toda ajuda, conselhos, esclarecimentos, além de todo auxílio necessário para que os ensaios pudessem ser concluídos.

Aos meus colegas de mestrado que compartilharam comigo seus conhecimentos.

Por fim, quero deixar um agradecimento a todos àqueles que contribuíram de alguma forma não só na realização deste trabalho, mas para o meu crescimento pessoal e profissional.

Carvalho, C. H. R. Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado 62 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

RESUMO

O concreto leve obtido com adição de partículas de poliestireno expandido (EPS) é conhecido como concreto com EPS. Estudou-se neste trabalho as propriedades de concretos com adição de dois teores diferentes de EPS para uso em paredes estruturais. O EPS por ser um material produzido em larga escala e muito leve, produz um grande volume de resíduos, os quais são pouco reaproveitados, principalmente no Brasil. Devido a necessidade de preservação do meio ambiente, este trabalho visou comparar o desempenho do concreto com a adição de EPS em pérolas e o reciclado. Foram fabricados cinco tipos de concretos, o primeiro de controle sem a adição de EPS e os outros quatro com duas porcentagens diferentes de EPS em pérolas e reciclado, a fim de analisar a influência do teor e tipo de EPS nas propriedades da mistura. Quanto aos ensaios realizados, foram avaliadas: resistência à compressão, massa específica, índice de vazios, absorção por imersão e por capilaridade. Por fim, realizaram-se testes utilizando pequenos moldes cúbicos de madeira cobertos com placas, cada uma com um dos cinco tipos concretos estudados para avaliar o fluxo de calor através das amostras e a temperatura no interior dos moldes. Constatou-se que a resistência à compressão dos concretos com adição de EPS apresentaram resultados inferiores na faixa de 34 a 50% em relação ao concreto de referência (sem a adição de EPS). Sendo que o concreto que apresentou melhor resultado nesse quesito foi o concreto com menor teor de EPS em pérolas. Em relação às propriedades físicas, o concreto de referência exibiu a menor absorção e índice de vazios, enquanto o concreto com maior teor de EPS em pérolas apresentou os maiores resultados para essas características, dentre todos os concretos estudados. Em contrapartida, em relação à absorção por capilaridade, o concreto de referência exibiu o pior desempenho, enquanto que os concretos com adição de EPS, especialmente o com maior teor de EPS em pérolas, demonstrou o melhor desempenho, ou seja, na redução da absorção por capilaridade. Finalmente, em relação ao ensaio térmico todos os concretos com EPS apresentaram resultados melhores do que o concreto de referência, na redução da temperatura máxima atingida pelas placas e no interior dos compartimentos e no atraso da ascensão da temperatura, principalmente o concreto com maior teor de EPS reciclado. Assim conclui-se que é plausível a substituição do EPS em pérolas por reciclado, devido às proximidades nos resultados encontrados, porém faz-se necessário a realização de estudos mais aprofundados a fim de melhorar algumas características para a aplicação em paredes estruturais, tais como, a resistência à compressão.

Palavras-chave: Concreto com EPS. EPS reciclado. Paredes estruturais. Comportamento térmico.

Carvalho, C. H. R. Study of concrete with recycled expanded polystyrene 62 p. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2017.

ABSTRACT

The lightweight concrete obtained with the addition of expanded polystyrene (EPS) particles is designated concrete with EPS. The aim of this paper is investigate the properties of concrete with the addition of two different EPS contents on structural panels. Due to its low density and large scale manufacturing, there is a large amount of waste generated the use of EPS produces a large quantity of not recycled waste. In regard to help preserve and protect the environment, particular attention will be paid on performance of the concrete with the addition of EPS in beads and recycled EPS. Five mixtures were prepared: the first one was for control purposes (reference mixture) and had no addition of EPS and the others were prepared with two different percentages of EPS in beads and recycled EPS, trying to evaluate the influence of them on the properties of the mixture. Compression strength behavior, specific mass, voids content, immersion and capillarity absorption were the developed tests, performed using small cubic wooden molds covered with slabs of the mixtures to measure the heat flow through the samples and the temperature inside the molds. It was verified that the compressive strength of the mixture with the addition of EPS presented lower rates (34 to 50%) in relation to the reference concrete (without the addition of EPS). Best result was obtained on the mixture with lower content of EPS in beads. Regarding physical properties, the reference mixture achieved the lowest absorption rate and voids content while the mixture with highest content of EPS in beads had the highest rates for these properties. However, regarding the capillarity absorption, the reference mixture had the worst performance, while the concretes with EPS (especially the one with highest content of EPS in beads) performed better, reducing the capillarity absorption. Finally, on thermal tests all mixtures with EPS presented better results than the reference concrete, decreasing levels of temperature achieved by the slabs and inside the compartments and slower increasing rate of temperature, mainly the mixture with highest content of recycled EPS. Conclusions were that the replacement of EPS in beads by recycled, due to proximity in the results achieved, is conceivable, but further studies must be carried out in order to improve some of mixture properties for building and construction industry use (structural panels) such as compressive strength behavior

Keywords: EPS Concrete. Recycled EPS. Structural walls. Thermal behavior.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Poliestireno PS antes e depois do processo de expansão.....	18
Figura 2: Valores de resistência à compressão do EPS.....	19
Figura 3: Volume de resíduos de EPS descartado.....	20
Figura 4: Lajes treliçadas com o uso de EPS	22
Figura 5: Concreto Leve com esferas de EPS.....	23
Figura 6: Dados do programa Minha Casa Minha Vida desde o início em 2009 até dezembro de 2015	26
Figura 7: Habitações construídas com paredes de concreto.....	27
Figura 8: EPS reciclado e em pérolas.....	34
Figura 9: Preparo do concreto com EPS em pérolas.	36
Figura 10: a) Ensaio de abatimento do tronco de cone; b) Ensaio de determinação da massa específica no estado fresco; c) Moldagem dos corpos de prova.	37
Figura 11: Moldagem da placa de concreto	38
Figura 12: Concretos com EPS no estado endurecido	38
Figura 13: Ensaio de determinação da resistência à compressão	39
Figura 14: Sistema de moldes cúbicos com placas de concreto com EPS para os testes térmicos	41
Figura 15: Seção transversal do esquema do ensaio térmico proposto.	41
Figura 16: Concreto CAP (a) e CBP (b)	44
Figura 17: Variação da massa específica para os tipos de concreto.....	45
Figura 18: Resistência à compressão pelo tipo de concreto	46
Figura 19: Porosidade nos concretos com EPS	48
Figura 20: Absorção de água por capilaridade nos concretos estudados	49
Figura 21: Absorção de água por capilaridade a) CR; b) CAP; c) CAR; d) CBP; e) CBR	50
Figura 22: Representação esquemática de materiais com porosidade similar a) alta permeabilidade; b) baixa permeabilidade	51
Figura 23: Temperaturas na face externa das placas	52
Figura 24: Temperaturas na face interna das placas	52
Figura 25: Temperaturas no interior dos compartimentos	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores da massa específica aparente do concreto leve estrutural	16
Tabela 2: Propriedades do cimento CP V ARI ensaiadas em laboratório.....	32
Tabela 3: Propriedades do agregado miúdo utilizado.	32
Tabela 4: Propriedades do agregado graúdo utilizado	33
Tabela 5: Especificações do aditivo hiperplastificante utilizado.	33
Tabela 6: Valores de massa específica dos tipos de EPS.	34
Tabela 7: Consumo dos materiais dos diferentes tipos de concreto para 1m ³	35
Tabela 8: Resultados de abatimento e massa específica no estado fresco	44
Tabela 9: Valores de resistência à compressão	45
Tabela 10: Absorção por imersão, índice de vazios e massa específica dos concretos utilizados	47
Tabela 11: Absorção de água por capilaridade nos concretos estudados.....	48
Tabela 12: Nomenclatura dos sensores para cada tipo de concreto	52
Tabela 13: Correlação entre a maior temperatura e o seu respectivo horário	54

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - American Concrete Institute

ASTM - American Society for Testing and Materials

CBIC - Câmara Brasileira Da Indústria da Construção

CEF - Caixa Econômica Federal

CP V ARI - Cimento Portland V de alta resistência inicial

EPS - Poliestireno Expandido

PS - Polimero Estireno

SBS - Estireno Butadieno Estireno

XPS - Poliestireno Extrudado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Importância do tema	13
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Estrutura do trabalho	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Concreto Leve	16
2.2 O EPS (Poliestireno Expandido)	17
2.2.1 A fabricação do EPS	17
2.2.2 Características do EPS	19
2.2.2 Reciclagem do EPS	20
2.3 Uso do EPS na construção civil	21
2.4 Concreto com EPS	22
2.4.1 Pesquisas internacionais de concreto com EPS	23
2.4.2 Pesquisas nacionais de concreto com EPS	24
2.5 Déficit habitacional.....	25
2.6 Paredes de Concreto	27
2.7 Desempenho Térmico	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Metodologia.....	31
3.2 Materiais utilizados	31
3.2.1 Cimento.....	31
3.2.2 Agregado Miúdo	32
3.2.3 Agregado Graúdo.....	32
3.2.4 Água e aditivo.....	33
3.2.5 Poliestireno Expandido (EPS).....	33
3.3 Produção do concreto.....	34
3.3.1 Dosagem utilizada no concreto	34
3.3.2 Produção do concreto e ensaios no estado fresco	36
3.3.3 Moldagem e cura dos corpos de prova	37
3.4 Ensaios dos concretos no estado endurecido.....	39
3.4.1 Resistência à compressão	39
3.4.2 Massa específica e absorção de água por imersão	39
3.4.3 Absorção por capilaridade	40
3.4.4 Ensaio térmico	40
4. RESULTADOS	43
4.1 Resultados no estado fresco	43
4.2 Resultados no estado endurecido	45

4.2.1 Propriedades mecânicas.....	45
4.2.2 Propriedades físicas	46
4.2.3 Propriedades térmicas	51
5. CONCLUSÃO	55
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os concretos convencionais compostos por cimento, agregados naturais e água são os concretos mais utilizados em todo o mundo. Apesar do uso intenso, ao longo dos anos foram desenvolvidos concretos com propriedades diferenciadas (leves, pesados, modificados com polímeros, com fibras, auto adensáveis *etc.*), dando origem aos chamados concretos especiais, os quais trouxeram grandes avanços em relação aos concretos convencionais.

Os concretos especiais podem ser definidos como concretos com características particulares para atender as necessidades das construções, de modo a serem empregados em locais/condições em que os concretos convencionais não podem ser aplicados ou não atendem as especificações de forma apropriada. A evolução da tecnologia do concreto vem ocorrendo de maneira rápida nas últimas décadas com o surgimento de novos materiais e aditivos químicos, transformando assim a tendência futura de cada vez mais o uso de concretos com características específicas.

Usualmente, utiliza-se a designação concreto leve para identificar concretos com estrutura porosa, geralmente à base de ligantes hidráulicos, com massa específica inferior à dos concretos tradicionais, que podem ser obtidos com a utilização de agregados leves, com a incorporação de ar (concretos celulares) ou sem finos (ROSSIGNOLO, 2003).

De acordo com o guia da *American Concrete Institute* o ACI 213R-87 (1997), a utilização de agregados leves no concreto geralmente implica num menor custo da estrutura. Apesar do concreto leve custar mais que o concreto normal, a estrutura pode custar menos como resultado da redução do peso próprio e, consequentemente, levando a um menor custo para as fundações.

Além das questões técnicas e econômicas, a escolha dos materiais de construção também está baseada nos aspectos ambientais da aplicação e do uso de materiais. Nesse sentido, o concreto leve pode possibilitar, com sua menor massa específica, a diminuição da armadura, da energia utilizada no transporte e no processo construtivo e, ainda, do consumo de energia

no condicionamento térmico das edificações, quando utilizado nas vedações externas (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).

Ainda sobre esta questão ambiental os materiais industrializados além de mobilizar vastos recursos financeiros e consumir uma enorme quantidade de energia, geram grande quantidade de resíduos que em grande maioria não são reaproveitados, causando permanente poluição, além do consumo de matérias primas não renováveis.

De acordo com Leite (2001), várias são as fontes que geram resíduos na construção civil. Por exemplo, a perda de materiais que saem das obras em forma de entulho e contribuem no volume de resíduos gerados. Daí a importância de se buscar novos materiais para a fabricação do concreto a partir de agregados não convencionais, principalmente os recicláveis.

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

1.1 Importância do tema

De acordo com Catoia (2012), a fabricação de concreto leve com o uso de EPS implica não somente no caráter ambiental, mas também econômico, por não despender recursos significativos para produção de agregados leves, e ainda produzir concretos mais leves que os disponíveis no mercado.

O EPS também pode proporcionar ao concreto um melhor desempenho térmico e acústico, pois como dito ele se constitui de ar em grande parte do seu volume. Além disso, sabe-se que o EPS é um dos polímeros mais usados para fabricação de embalagens descartáveis para acondicionamento de alimentos. O descarte dessas embalagens tem uma grande contribuição no volume de resíduos sólidos gerados.

De acordo com Monteiro (2011), no Brasil foram produzidas 55 mil toneladas de EPS no ano de 2007 e outras 2 mil toneladas foram importadas com equipamentos eletrônicos e diferentes bens trazidos do exterior. Já em 2008 foram produzidos no Brasil cerca de 62,9 mil toneladas de Poliestireno Expandido (EPS) e aproximadamente 20 mil toneladas de Poliestireno Extrudado (XPS) que é um isolante térmico geralmente apresentado em placas

leves e rígidas, totalizando cerca de 82,9 mil toneladas. Desse total, estima-se que retornaram ao processo produtivo com destino à reciclagem cerca de 7 mil toneladas, ou seja, apenas 8,4% de tudo o que foi produzido. Estimativas apontam que o EPS demore cerca de centenas de anos para ser totalmente degradado.

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

Nesta pesquisa verifica-se a possibilidade de substituição de parte dos agregados por EPS para concretos utilizados em paredes estruturais em habitações de interesse social. Além disso, tem-se um material de baixo custo, renovável e com potencial de ser amplamente disponível por meio da reciclagem.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é produzir misturas de concreto com esferas de EPS e partículas de EPS reciclado e avaliar suas propriedades no estado fresco e endurecido para aplicação em paredes estruturais de edificações. Para isso, foram produzidos e avaliados concretos com adição de EPS reciclado e em pérolas, comparados quanto às suas características mecânicas, físicas e térmicas.

1.2.2 Objetivos específicos

A seguir são exibidos os objetivos de maneira mais específica:

- Avaliar e comparar as propriedades dos concretos produzidos no estado fresco;
- Avaliar e comparar as propriedades dos concretos produzidos no estado endurecido;
- Analisar e comparar as propriedades térmicas dos concretos estudados;

1.3 Estrutura do trabalho

Esta dissertação é dividida em cinco capítulos.

O trabalho inicia-se com uma introdução aos temas que serão abordados, a importância e motivação para desenvolvê-lo, ainda no primeiro capítulo tem-se o objetivo deste estudo e a estruturação do texto.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica acerca do tema, com ênfase nos conceitos e assuntos que serão abordados no decorrer do texto.

No terceiro capítulo são especificados os materiais e métodos utilizados na pesquisa, a forma de produção dos concretos e a descrição dos ensaios realizados.

No quarto capítulo é feita a análise e discussão dos resultados encontrados no decorrer da pesquisa.

Finalmente no último capítulo são apresentadas as considerações finais sobre esse trabalho, assim como, algumas sugestões para trabalhos futuros

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto Leve

O concreto leve possui inúmeras vantagens, nas quais se destacam o baixo peso específico, maior durabilidade, isolamento térmico e resistência a altas temperaturas. Como desvantagens pode-se citar a necessidade de maior cuidado com a segregação, baixo módulo de elasticidade e custos com os agregados leves (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).

Quando comparado ao concreto convencional, o concreto leve utilizado em vedação reduz o consumo de energia para condicionamento térmico das edificações, pois a utilização de concretos leves em fachadas e coberturas reduz a absorção e a transferência de calor para o interior da construção (ROSSIGNOLO, 2009).

O concreto leve estrutural, em geral, apresenta massa específica aparente abaixo de 2000 kg/m³. A Tabela 1 apresenta as indicações das principais normalizações de referência.

Tabela 1: Valores da massa específica aparente do concreto leve estrutural

Referência	Massa específica aparente γ (kg/m ³)
ABNT NBR NM 35 (1995)	$1680 < \gamma < 1840$
ACI 213R-03 (2003)	$1120 < \gamma < 1920$
EUROCODE 2 (2007)	$900 \leq \gamma \leq 2000$
NS 3473 E (1998)	$1200 < \gamma < 2200$
CEB-FIP (1977)	< 2000
RILEM (1975)	< 2000
ABNT NBR 8953:2015	< 2000

Fonte: ROSSIGNOLO, 2009.

Devido a predominante utilização do cimento CP V ARI em sua fabricação, os concretos leves geralmente têm valores finais de resistência à compressão estabilizados mais rapidamente do que os concretos tradicionais. Em geral, aos 7 dias já apresentam 80% da resistência à compressão observada aos 28 dias de idade (EUROLIGHTCON, 1998).

Para aumentar o valor da resistência à compressão do concreto leve, existe teor ótimo para a quantidade de cimento. Atingindo esse teor, o aumento da resistência à compressão da

pasta de cimento já não contribui para o aumento da resistência à compressão do concreto. O consumo de cimento dos concretos leves de alto desempenho normalmente varia entre 400 e 600 kg/m³ (AÏTICIN, 2000).

Como já dito no capítulo 1, uma maneira que vem sendo utilizada para se obter o concreto leve é a adição de EPS como agregado leve.

2.2 O EPS (Poliestireno Expandido)

EPS *Expanded Polystyrene* é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, no Brasil, é mais conhecido como "Isopor", marca registrada da Knauf Isopor Ltda., e designa, comercialmente, os produtos de poliestireno expandido comercializados por esta empresa. Trata-se de um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água, descoberto em 1949 nos laboratórios da empresa Basf, na Alemanha.

O poliestireno expandido (EPS) é um plástico celular rígido que pode se apresentar sob diversas formas geométricas e pode desempenhar uma infinidade de aplicações. Apresenta-se como uma espuma moldada, constituída por um aglomerado de grânulos (MANO, 1999).

Segundo Santos (2008), duas características do EPS têm fortalecido a sua presença no mercado consumidor, onde vem obtendo crescente participação: a leveza e a capacidade de isolamento térmico, às quais ainda se associa o baixo custo.

A utilização do material EPS industrialmente abrange uma grande gama de aplicações. Seu emprego vai da agricultura até a construção civil, passando pela indústria de embalagens de eletroeletrônicos, alimentos e bebidas, produtos farmacêuticos, utilitários e decorativos.

Porém, é na construção civil que o EPS tem se destacado devido a adequação de suas propriedades às necessidades das obras, seja pelas suas características de isolante térmico, como pelo seu reduzido peso específico aliado a alta resistência e facilidade de manuseio.

2.2.1 A fabricação do EPS

A matéria prima do EPS, o polímero poliestireno (PS), é um polímero de estireno que contém um agente expansor. Ele é obtido, a partir do petróleo, por meio de diversas transformações químicas. Apresenta-se sob a forma de pequenos grânulos capazes de expandir cerca de 50 vezes o seu volume inicial.

A Figura 1 mostra a diferença de volume de grãos do poliestireno PS antes e após o processo de expansão.

Figura 1: Poliestireno PS antes e depois do processo de expansão



Fonte: Expanded Polystyrene (EPS) [s.d.]

Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano (C_5H_{12}), um hidrocarboneto que por ser estruturado somente com átomos de carbono e hidrogênio deteriora-se facilmente no meio ambiente devido reação de fotoquímica realizada pelos raios solares (ABRAPEX, 2017).

De acordo com Santos (2008), o processo para a fabricação dos blocos de EPS ocorre em 3 etapas:

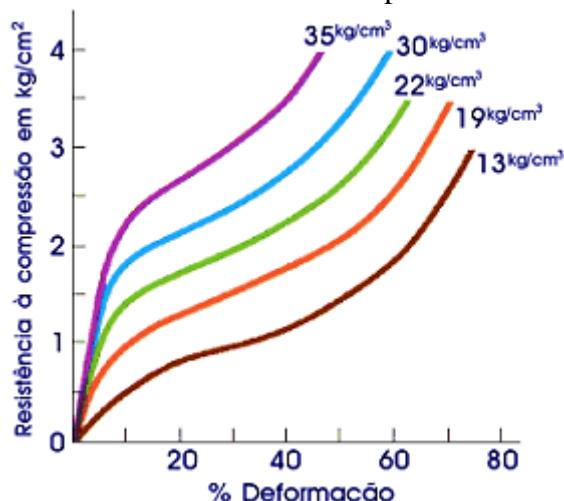
- 1. Expansão:** a primeira fase de expansão do polímero de poliestireno (PS) é efetuada por um processo de aquecimento por contato com vapor de água. O agente expensor infla o PS para um volume cerca de 50 vezes maior do que original. Deste processo, resulta um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que é armazenado para estabilização;
- 2. Estabilização:** durante esta fase de estabilização térmica e química, o material granulado resfria-se criando uma zona de depressão no interior das células. Ao longo deste processo, o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante. Desta forma, a expansão do material torna-se completa e seu volume é aumentado ao estágio final. O armazenamento é necessário para permitir a posterior transformação do EPS de acordo com as formas necessária em sua moldagem;
- 3. Moldagem:** o material granulado, já estabilizado pelo armazenamento, é introduzido em moldes (com tamanhos e formas pré-definidos) e novamente aquecido por meio da exposição a vapor de água, provocando a soldagem dos grãos e obtendo desta forma um material monolítico e rígido, contendo uma grande quantidade de ar.

2.2.2 Características do EPS

Segundo Souza (2002), as principais características do EPS e que lhe concedem uma grande versatilidade de utilização, são:

- **Baixa condutibilidade térmica** - a propriedade mais importante do EPS é sua capacidade de resistir à passagem do calor. Isto se deve a sua estrutura celular, que é constituída por milhões de células fechadas com diâmetros de alguns décimos de milímetros e com paredes de 1 mm. Esta espuma é composta de aproximadamente por 2% de poliestireno e 98% de ar. Assim o fator decisivo para a boa capacidade de isolamento térmico do EPS é o de manter, permanentemente, uma grande quantidade de ar, quase imóvel, dentro das suas células.
- **Leveza** – a massa específica do EPS varia de 10 a 30 kg/m³, o que pode permitir uma redução substancial do peso das construções.
- **Resistência mecânica** - apesar de muito leve, o EPS tem uma resistência mecânica razoável, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária. Sua resistência à compressão pode ser observada na Figura 2 e varia de 3 a 4 kg/cm².

Figura 2: Valores de resistência à compressão do EPS



Fonte: Abrapex (2017)

- **Baixa absorção de água** - o EPS não é higroscópico. Mesmo quando imerso em água o EPS absorve apenas pequenas quantidades de água. Tal propriedade garante que o EPS mantenha as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade.

- **Fácil manuseio** – a baixa massa específica do EPS facilita o manuseio do mesmo em obra, seja para movimentação ou instalação do material.

2.2.2 Reciclagem do EPS

O EPS é reciclável, mas para isso, deve estar limpo e separado de metais, papéis, adesivos e outros contaminantes. No processo de reciclagem, é triturado e reduzido mecanicamente para a forma de pérolas. Após o aquecimento das pérolas em um sistema de extrusão, o ar é liberado e o material pode então ser fundido. O material fundido é então utilizado na fabricação de diferentes objetos como, interruptores, caixas, materiais de escritório *etc.* (BERNARDY, 2016).

Segundo Santos (2008), por conta da falta de estrutura, o Brasil recicla apenas 10% do EPS pós consumo, uma falha em termos ambientais e mercadológicos. Quando transformado em outros materiais plásticos como PS (poliestireno) e compostos SBS (estireno butadieno estireno) no processo de reciclagem, o EPS pode virar solado de sapato, vaso de plantas, gabinete de TV e régua escolar, entre tantos outros produtos.

Como o EPS é um material produzido em larga escala é necessário ficar atento à correta eliminação e tratamento do mesmo, pois por ser um material muito leve ele ocupa um grande volume de resíduos, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3: Volume de resíduos de EPS descartado



Fonte: Dinâmica Ambiental (2014).

De acordo com Bernardy (2016), a falta de reciclagem e destinação apropriada ocorre por falta de conscientização da população, que o descarta em lixos comuns. Apesar de ser

considerado atóxico, o poliestireno, além de poluir rios e lagos, acaba contribuindo diretamente para a formação de enchentes nas cidades já que suas características físicas são determinantes para o entupimento de bueiros. Estima-se que o EPS demore cerca de 150 anos para ser totalmente degradado. Algum tempo após ser descartado, o polímero se quebra dando origem ao micro plástico, que possui a capacidade de absorver compostos químicos tóxicos, como agrotóxicos, pesticidas e metais pesados presentes principalmente nos rios, lagos e oceanos.

Animais marinhos como peixes, tartarugas, baleias e golfinhos podem confundir esse micro plástico e pequenos pedaços de EPS com organismos marinhos e acabam se alimentando deles. O resultado disso é a intoxicação não apenas dos animais marinhos, mas também de qualquer um que venha a se alimentar deles, incluindo os seres humanos (BERNARDY, 2016).

De acordo com Ambiente Brasil (2008), o uso do EPS reciclado para construção civil torna o custo da habitação mais barato e colabora para o reaproveitamento do resíduo. Os sistemas construtivos em EPS propiciam uma economia significativa nos projetos estruturais das obras, na logística e reduz o desperdício.

Na construção civil o EPS reciclado, pode ser utilizado na produção de bloco estrutural de concreto leve, argamassa e concreto leve, aproveitável em qualquer parte da construção convencional que não exija materiais de alta resistência. Grande parte desse potencial se perde devido à falta de políticas de incentivo para reciclagem do EPS que dificultam que este material saia da residência do consumidor e volte à indústria transformadora.

2.3 Uso do EPS na construção civil

O Poliestireno Expandido (EPS) vem sendo utilizado cada vez mais como material para construção civil, devido principalmente à sua baixa densidade e capacidade de isolamento termo-acústico. Sua incorporação permite reduzir a potência de refrigeração dos sistemas de condicionadores de ar, buscando maiores condições de conforto aliada à economia nos gastos anuais com energia elétrica. Além da sua capacidade isolante, as características de baixa densidade, resistência e facilidade de manuseio têm contribuído para o material ocupar uma posição estável na construção civil (TESSARI; ROCHA, 2006).

Dentre as aplicações do EPS na construção civil podemos citar, seu uso em lajes treliçadas, conforme mostra a Figura 4, onde pode se destacar redução no peso próprio da laje, além de benefícios quanto ao conforto térmico e acústico.

Figura 4: Lajes treliçadas com o uso de EPS



Fonte: Autor

A indústria da Construção Civil, pela grande quantidade e diversidade de materiais que consome é um mercado, em potencial, para absorver resíduos de EPS provenientes de embalagens de eletrodomésticos, máquinas equipamentos, *etc.* Por esta razão, materiais alternativos, desenvolvidos com estes resíduos, podem representar uma boa alternativa até mesmo no custo final de moradias, em função da matéria-prima em parte reaproveitada no processo.

O uso do EPS em obras civis, por exemplo, é uma tecnologia comprovadamente viável para conservação de energia, necessitando apenas maior divulgação de suas qualidades. Na Europa, a construção civil responde por 65% do consumo da produção total de EPS, enquanto no Brasil chega a apenas 4% (KRÜGER *et al.*, 1999).

Em sua pesquisa Medeiros *et al.* (2006), realizaram uma análise experimental de EPS triturado para ser usado em blocos de cimento para alvenaria de vedação, em substituição parcial ao agregado natural presente nos blocos. Quando submetidos a ensaios experimentais para determinação de absorção de água, porosidade e resistência à compressão, foram obtidos resultados satisfatórios em relação às Normas da ABNT.

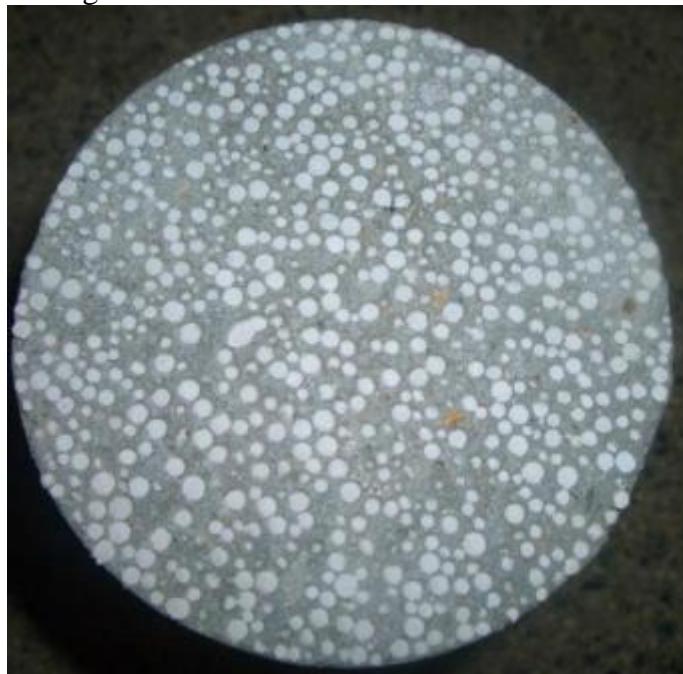
2.4 Concreto com EPS

De acordo com Chen e Liu (2004) os primeiros estudos sobre o concreto com EPS começaram em 1973, quando David John Cook investigou a inclusão de poliestireno expandido em massas cimentícias utilizando o cimento Portland comum como fase matriz.

Entre os vários tipos de concretos leves pode-se destacar aqueles obtidos pela mistura de concreto de alto desempenho com esferas de poliestireno expandido (EPS). São particularmente interessantes por várias razões. Primeiro, os elementos estruturais de concreto com EPS podem ser fabricados no canteiro de obras. Além disso, é possível adaptar as propriedades do concreto com EPS variando parâmetros do material como o tamanho das esferas e fração de volume (BOUVARD *et al.*, 2007).

De acordo com Catoia (2012), o concreto com EPS é um material constituído de agregados granulares e inertes, como areia e poliestireno expandido. O EPS é responsável pela redução da massa específica do concreto e atua como agregado graúdo e como incorporador de ar, apresentando distribuição homogênea (Figura 5).

Figura 5: Concreto Leve com esferas de EPS.



Fonte: Catoia (2012).

O processo para produção do concreto com EPS é semelhante ao do concreto convencional, utilizando misturadores conhecidos, betoneiras e caminhões betoneiras, o que facilita sua aplicação, por conta da infraestrutura já existente para produção dos concretos comuns.

2.4.1 Pesquisas internacionais de concreto com EPS

A seguir será apresentado um panorama das pesquisas internacionais de maior relevância para este trabalho:

Em experimentos feitos por Parant e Le Roy (1999), os autores formularam e otimizaram concretos com poliestireno expandido com densidade variando de 600 a 1400 kg/m³ e ainda com resistência estrutural. Os resultados mostraram que a resistência à compressão do concreto com EPS aumenta com a diminuição do tamanho das esferas de EPS para uma mesma densidade. Por exemplo, para concretos com densidade de 1000 kg/m³ e esferas de 7 mm, mostraram uma diminuição de 35% na resistência à compressão em comparação com a mesma mistura, mas com esferas de poliestireno de 1 mm.

Essa tendência de quanto menor o diâmetro das esferas de EPS, maior será a resistência à compressão de concretos com EPS de mesma densidade, foi confirmada por Babu e Babu (2002), em um estudo de concretos com EPS e densidades (variando de 1440 kg/m³ a 1850 kg/m³) com dois tamanhos de esferas de EPS: 4,75 mm e 6,3 mm, onde os concretos produzidos com esferas de EPS de 4,75 mm apresentavam sempre maiores resistências quando comparados aos concretos com esferas de 6,3 mm para uma mesma densidade.

Chen e Liu (2004) obtiveram compósitos cimentícios apresentando densidade entre 800 a 1800 Kg/m³ e resistência à compressão de 10 a 25 MPa, para adições de poliestireno expandido na faixa de 25 a 55% em volume. Os autores reportaram que a adição de fibras de aço (70 kg/m³) na mistura aumentou significativamente a resistência à tração do compósito além de reduzir a taxa de retração.

Tang *et al.* (2008) adicionaram poliestireno expandido na faixa de 20 e 60% de volume, relatando que a densidade, a resistência mecânica e o módulo de elasticidade do compósito diminuem em função da concentração do poliestireno expandido da mistura. Além disso, as retrações em longo prazo dos compósitos são fortemente dependentes da fração volumétrica do poliestireno expandido e do tempo de cura.

Em sua pesquisa, Sayadi *et al.* (2016) estudou sobre os efeitos do concreto com poliestireno expandido quanto a massa específica, resistência ao fogo e resistência à compressão e percebeu que com o aumento do volume de EPS ocorreu uma diminuição dessas 3 propriedades

2.4.2 Pesquisas nacionais de concreto com EPS

As pesquisas nacionais com concreto com EPS começaram a partir dos anos 2000, a seguir será apresentado um panorama dessas pesquisas:

Catoia (2012) estudou a caracterização de concreto leve com pérolas de EPS e sua aplicação em lajes maciças pré-moldadas. Seu estudo apontou a viabilidade do material, em especial pela redução da massa específica. Os valores encontrados para a resistência mecânica e as características do material são compatíveis com a produção e aplicação em lajes pré-moldadas e em demais peças submetidas a moderadas tensões de compressão.

Ferreira (2013) estudou o projeto de um edifício com elementos pré-moldados de concreto leve com EPS e de concreto autoadensável com peso normal. Verificou que os custos com produção e transporte apontam vantagens do concreto com EPS no custo global do empreendimento.

Schackow (2014) observou vantagens na redução do peso das estruturas quando se emprega concreto leve com EPS, com massa específica entre 1070 kg/m³ e 1250 kg/m³, além de boa capacidade de isolamento térmico e durabilidade satisfatória do material. Comparado com concreto leve com vermiculita de mesma ordem de massa específica, o concreto leve com EPS apresentou maior resistência.

Sartorti (2015) estudou o comportamento dinâmico de lajes de concreto leve com pérolas de EPS, e o material apresentou resultados satisfatórios para a aplicação em elementos estruturais.

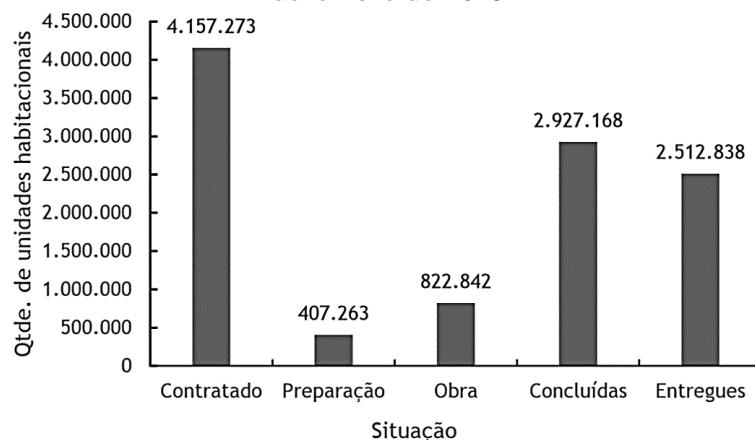
2.5 Déficit habitacional

De acordo com Pimentel (2015) são inúmeros os estudos que demonstram preocupação no sentido de resolver os problemas habitacionais e construir políticas para elevar os níveis das condições de moradia. Como resultado, o direito à moradia digna tem previsão na Constituição Federal, a partir da Emenda Constitucional n. 26, de 14 de fevereiro de 2000, em seu Art. 6º, passando a se caracterizar como um direito social do indivíduo. Observando a contemporaneidade dos direitos humanos, o direito à moradia deve ser compreendido como algo que ultrapasse o conceito de um simples abrigo contra as intempéries da natureza. A moradia deve ser um lugar adequado às necessidades básicas do indivíduo, capaz de suprir adequadamente e suficientemente o mínimo de dignidade da pessoa humana, com conforto e qualidade, constituindo, ainda, abrigo inviolável.

Segundo pesquisa da Fundação João Pinheiro (Fundação João Pinheiro – FJP, 2014) o déficit habitacional brasileiro em 2012 correspondia a 5,792 milhões de domicílios. Dentre as regiões do Brasil cabe destacar as regiões sudeste e nordeste com os maiores índices.

Para tentar reverter esse problema várias medidas governamentais já foram adotadas, entre elas o programa habitacional Minha Casa Minha Vida, que teve início em 2009 e até dezembro de 2015 já haviam sido entregues mais de 2,5 milhões de casas. Na Figura 6 pode ser visualizado o total de unidades habitacionais contratadas, em preparação, em obra, concluídas e entregues pelo programa desde o início em 2009 até dezembro de 2015 (BORGES, 2016).

Figura 6: Dados do programa Minha Casa Minha Vida desde o início em 2009 até dezembro de 2015



Fonte: Caixa Econômica Federal - CEF (2015).

A grande demanda por habitações de interesse social forçou o mercado a investir nos chamados sistemas inovadores, que apresentam processos construtivos racionalizados, que buscam um menor consumo de mão de obra e otimização do tempo de execução por meio do aumento do uso de produtos e processos industrializados (CBIC, 2013).

Nesse quadro de mudanças, surgiu a necessidade de adotar requisitos mínimos referentes a conforto, estabilidade, vida útil, segurança estrutural e contra incêndios, visto que muitos dos sistemas inovadores e muitas das construções convencionais que eram edificadas a fim de atender aos programas sociais, não atendiam as necessidades dos consumidores que as adquiriam (CBIC, 2013).

Com o intuito de minimizar possíveis danos às construções, foi publicada a Norma de Desempenho em Edificações Habitacionais – ABNT NBR 15575:2013, que busca padronizar tecnicamente o mercado e induzir a uma melhoria da qualidade das construções. Sua importância consistiu no fato de criar um marco regulatório no setor para construção civil (MARQUES, 2015).

2.6 Paredes de Concreto

Um dos sistemas considerados inovadores e largamente utilizado em edificações de apoio social é o composto por paredes monolíticas de concreto moldado no local. A aplicação dessa técnica gera um custo inicial elevado, porém o investimento é compensado quando as vantagens são analisadas (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

De acordo com Carvalho (2012) algumas das vantagens do sistema de paredes de concreto são:

- Velocidade de execução;
- Industrialização do processo,
- Maior controle de qualidade;
- Redução de etapas e qualificação da mão de obra;
- Redução no desperdício de materiais,

Além disso, é um sistema que pode ser utilizado em diferentes tipos de edificações como habitações de interesse social e grandes edifícios.

A Figura 7 mostra como o sistema de paredes de concreto pode tornar uma obra mais simples, limpa e rápida.

Figura 7: Habitações construídas com paredes de concreto.



Fonte: Autor

De acordo com Santos (2016) dados apontam que o sistema construtivo que utiliza paredes de concreto moldadas no local da obra tem prevalecido no programa Minha Casa Minha Vida. Em 2014, a tecnologia estava presente em 36% das unidades produzidas. A partir do segundo semestre de 2015, o percentual cresceu para 52%.

De acordo com Corsini (2012) a demanda pelo sistema de paredes de concreto foi tamanha, que surgiu a necessidade de normatizá-lo, visto que a técnica vinha sendo utilizada por poucas construtoras do Brasil, que usavam os seus próprios procedimentos, que precisavam ser aprovados em órgão certificador, onde após aprovação recebiam um documento de avaliação técnica, particular para cada sistema. Com isso, esse sistema foi normatizado pela Norma ABNT NBR 16055:2012 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimento, o que serviu de incentivo para a difusão desse sistema construtivo.

2.7 Desempenho Térmico

A definição de conforto térmico é muito subjetiva, pois depende de fatores pessoais e ambientais. Do ponto de vista pessoal, o conforto térmico é uma “condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Do ponto de vista ambiental, o conforto térmico se dá quando as condições “permitem a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem adicionados mecanismos termo reguladores” (ISO 7730, 1994).

Segundo Lamberts (2005), as variáveis de conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas. As variáveis humanas são: o metabolismo gerado pela atividade física e a resistência térmica oferecida pela vestimenta. As variáveis ambientais são: a temperatura do ar; a temperatura radiante média; a velocidade do ar e a umidade relativa do ar. Além disso, variáveis como sexo, idade, etnia, hábitos alimentares, peso, altura entre outros podem exercer influência nas condições de conforto térmico para cada pessoa e devem ser consideradas.

Sendo o conforto térmico fundamental em uma habitação, várias instituições no mundo e pesquisadores iniciaram estudos nesta área, avaliando o desempenho térmico das habitações e definindo parâmetros de conforto. Há pouco mais de vinte anos, no Brasil, intensificaram-se os estudos com relação ao desempenho térmico de habitações, em especial das chamadas habitações de interesse social (SANTOS, 2008).

O interesse quanto ao condicionamento térmico natural não deve ser somente por razões de conforto, mas também de eficiência energética, pois importante parcela do consumo total de energia elétrica em um edifício deve-se aos equipamentos de climatização, seja para o aquecimento ou para a refrigeração dos ambientes. Enquanto que para a população de classe média e alta a falta de habitabilidade das edificações significa aumento de consumo energético com climatização artificial, para a população menos favorecida a inadequação térmica das habitações significa desconforto (VIEIRA, 2005).

A Caixa Econômica Federal (CEF) e a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) indicam a utilização de concretos leves na execução de habitações de interesse social utilizando sistema construtivo de parede moldada *in loco*, com a intenção de melhorar o desempenho térmico das edificações, sendo o concreto leve celular o mais utilizado (SACHT, 2008).

As propriedades térmicas dos concretos leves são significativamente diferentes das encontradas nos concretos tradicionais, principalmente, devido ao ar aprisionado que reduz a transferência e a absorção de calor, alterando assim as propriedades térmicas dos concretos como a condutividade térmica, por exemplo. Devido a este fator o concreto leve é utilizado em algumas edificações com o objetivo de reduzir a absorção e a transferência para o ambiente interno do calor proveniente da radiação solar (HOLM e BREMNER, 2000).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), materiais que possuem baixa densidade e que são porosos como, por exemplo, a cortiça, o EPS, lã de vidro e a lã de rocha são isolantes térmicos. A capacidade de reduzir a transferência de calor se dá ao fato de o ar parado contido nesses poros ter baixa condutividade térmica.

Ainda segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a condutividade térmica (λ) depende da densidade do material e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo.

Em sua pesquisa Shadnia, *et al.* (2015) propôs um ensaio térmico utilizando placas de concreto apoiadas sobre um compartimento cúbico de madeira isolada termicamente. Foram analisados três tipos de concretos, o de referência, e os outros dois continham teores de 10 e 20% de geopolímero em substituição ao agregado miúdo em volume. A fim de analisar o fluxo de calor foram instalados três termopares em cada um dos compartimentos, sendo um na face externa e outro na face interna da placa de concreto e o último no interior do compartimento de madeira. As temperaturas foram registradas durante 24 horas (de 6:00 am

ás 6:00 am). Os resultados mostraram que o concreto com 20% de geopolímero, além de apresentar menores temperaturas na placa e no interior do compartimento, a temperatura levou mais tempo para chegar a seu máximo no interior da caixa.

De acordo com Silva (2013) o fluxo de calor é a taxa de energia térmica transferida a uma dada superfície. Pode ser quantificado por seu valor transferido por unidade de área em uma unidade de tempo. O calor é energia em fluxo, existindo três mecanismos para ocorrer essa transferência de calor: a radiação, condução e convecção.

- Radiação: a radiação é uma forma eletromagnética de transferência de calor, que pode acontecer até mesmo no vácuo. O exemplo mais comum é a luz solar que atravessa o espaço. Ela pode ser detectada como ondas de calor infravermelho ou como luz.
- Condução: a condução é o modo mais comum de transferência de calor porque os sólidos são mais propagadores do calor condutivo. A energia é transferida de uma molécula para a outra por meio de difusão de sua energia potencial.
- Convecção: a convecção acontece com os gases e os líquidos. Ela acontece quando o fluido fica em contato com uma superfície quente.

Nesta pesquisa verifica-se a possibilidade de aplicação de concretos com EPS utilizados em paredes estruturais para habitações de interesse social. Além disso busca-se encontrar nesse material uma alternativa com desempenho térmico superior ao concreto convencional.

Para avaliar o desempenho térmico através do fluxo de calor será adaptado o ensaio proposto por Shadnia, *et al.* (2015), que já foi mencionado nesse tópico.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

Em conformidade com os objetivos propostos nesta pesquisa, implementou-se a metodologia baseada em programa experimental, em laboratório, com placas simulando as paredes de concreto, de tal forma que os resultados obtidos pudessem fornecer informações acerca da caracterização, do ponto de vista de desempenho térmico, de paredes de concreto com EPS. O EPS utilizado foi de dois tipos, pérolas e reciclado. Nos concretos do tipo A, foi substituído todo o volume de agregado graúdo (brita) pelo o EPS. Já nos concretos do tipo B o incremento de EPS foi feito em substituição ao volume correspondente de agregado miúdo (areia).

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

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

3.2 Materiais utilizados

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

3.2.1 Cimento

Na produção do concreto foi utilizado o cimento de alta resistência inicial (CP V ARI), que possui grande utilização no sistema de parede de concreto, pela necessidade de rápida

desforma. Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades do cimento ensaiadas em laboratório.

Tabela 2: Propriedades do cimento CP V ARI ensaiadas em laboratório.

Propriedades	Resultados obtidos	Normas utilizadas (ABNT)
Massa específica (g/cm ³)	3,01	NBR NM 23:2001
Área superficial (m ² /kg)	541,22	NBR 11579:2012
Tempo de pega inicial (min)	125,00	NBR NM 65:2003
Tempo de pega final (min)	186,00	NBR NM 65:2003
Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)	39,70	NBR 7215:1996

Fonte: Autor.

3.2.2 Agregado Miúdo

Em relação ao agregado miúdo foi utilizada areia média lavada, da região do triângulo mineiro em MG. Na Tabela 3 são relacionadas as propriedades do agregado miúdo de acordo com as respectivas normas empregadas para a determinação das mesmas.

Tabela 3: Propriedades do agregado miúdo utilizado.

Propriedades	Resultados obtidos areia média	Normas utilizadas (ABNT)
Massa específica (g/cm ³)	2,66	NBR NM 52:2009
Dimensão máxima característica (mm)	4,75	NBR NM 248:2003
Módulo de finura	2,42	NBR NM 248:2003
Massa unitária estado solto (g/cm ³)	1,48	NBR NM 45:2006

Fonte: Autor.

3.2.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi de pedra britada de rocha basalto, zona granulométrica 4,75/12,5 (Brita 0). As propriedades avaliadas assim como as respectivas normas de ensaio encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades do agregado graúdo utilizado

Propriedades	Resultados obtidos (Brita 0)	Normas utilizadas (ABNT)
Massa específica (g/cm ³)	2,88	NBR NM 53:2009
Dimensão máxima característica (mm)	12,50	NBR NM 248:2003
Módulo de finura	5,95	NBR NM 248:2003
Massa unitária estado solto (g/cm ³)	1,43	NBR NM 45:2006
Massa unitária estado compactado (g/cm ³)	1,56	NBR NM 45:2006

Fonte: Autor.

3.2.4 Água e aditivo

A água utilizada na produção dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Uberlândia-MG.

O aditivo utilizado foi o MasterGlenium 3400 da BASF. De acordo com as informações técnicas, esse aditivo é denominado como um aditivo hiperplasticante, com um alto índice de redução de água. A Tabela 5 contém algumas especificações contidas na ficha técnica do produto.

Tabela 5: Especificações do aditivo hiperplasticante utilizado.

Dados técnicos	
Aspecto	Líquido
Cor	Castanho Escuro
Base Química	Éter policarboxílico
Massa Específica (g/cm ³)	1,00 – 1,20
pH	8,00 – 10,00
Consumo sobre o peso do cimento (%)	0,20 – 1,00

Fonte: Fabricante.

3.2.5 Poliestireno Expandido (EPS)

O Poliestireno Expandido (EPS) foi aplicado de duas formas, por meio de Trituração de embalagens recicláveis (Figura 8a) e por meio de pérolas (Figura 8b), ambos materiais foram adquiridos de papelarias da cidade de Uberlândia-MG. Tanto as pérolas quanto as partículas de EPS reciclado possuem diâmetro variando de 1,2 a 4,8 mm.

Como dito o EPS reciclado já foi adquirido triturado, porém como a granulometria da maioria de suas partículas estavam maiores que o determinado para a confecção dos concretos, ou seja, maiores que 4,8 mm, foi então realizado nova trituração e posteriormente

foi realizado peneiramento para se obter partículas com tamanho variando entre 1,2 a 4,8 mm.

Figura 8: EPS reciclado e em pérolas.



Fonte: Autor

A massa específica dos dois tipos de EPS foram realizadas de maneira semelhante a determinação da massa específica do agregado miúdo, pela norma NBR NM 52:2009.

Os dois tipos de EPS possuem massas específicas ligeiramente diferentes, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Valores de massa específica dos tipos de EPS.

Tipo do EPS	Massa Específica (kg/m ³)
Pérola	15,5
Reciclado	12,3

Fonte: Autor

3.3 Produção do concreto

Foram utilizados concretos com consistência mais fluida, semelhante ao recomendado para construção em paredes de concreto, ou seja, com abatimento superior a 160 mm, segundo a norma NBR 8953:2015. A seguir, está descrita as proporções dos materiais adotados na produção dos concretos além da forma de moldagem e cura dos corpos de prova utilizados na pesquisa.

3.3.1 Dosagem utilizada no concreto

Como já mencionado, nessa pesquisa foram utilizados concretos com uma consistência mais fluida, de forma a facilitar a moldagem das peças e a mistura das partículas de EPS, também

foi utilizado aditivo superplastificante até o limite sugerido pelo fabricante (1,0%) de modo a se atingir a trabalhabilidade adequada. A Tabela 7 apresenta o consumo dos materiais dos concretos utilizado nessa pesquisa. Os teores de EPS foram adotados com base nas pesquisas já realizadas visando dosagens aplicáveis para paredes de concreto, com abatimento acima de 160 mm e resistência à compressão de aproximadamente 20 MPa.

Tabela 7: Consumo dos materiais dos diferentes tipos de concreto para 1m³.

	Cimento CP V (kg)	Areia média (kg)	Brita (L)	EPS (L)	Água (L)	Aditivo (kg)
CR	500	1050	420	0	200	5
CAP	500	1050	0	420	200	5
CAR	500	1050	0	420	200	5
CBP	500	865	0	490	200	5
CBR	500	865	0	490	200	5

Fonte: Autor

Conforme já mencionado o EPS foi utilizado de duas formas, em pérolas e reciclado. Nos concretos do tipo A, foi substituído todo o volume de agregado graúdo (brita) pelo o EPS. Já nos concretos do tipo B o incremento de 70 litros de EPS foi feito em substituição ao volume correspondente de agregado miúdo (areia). Em todos os traços foi mantida a relação água/cimento de 0,4.

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

- CR: Concreto de Referência;
- CAP: Concreto tipo A, com adição de pérolas de EPS, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita);
- CAR: Concreto tipo A, com adição de EPS reciclado, em substituição ao volume total de agregado graúdo (brita);
- CBP: Concreto tipo B, com incremento de pérolas de EPS, em substituição ao volume de 70 litros de agregado miúdo (areia);
- CBR: Concreto tipo B, com adição de EPS reciclado, em substituição ao volume de 70 litros de agregado miúdo (areia);

A ordem e tempo de mistura dos componentes do concreto foram definidos de modo a se obter uma maior dispersão dos materiais. Para a determinação da quantidade de aditivo, foi

colocada a quantidade limite recomendada pelo fabricante e já se obteve os resultados almejados, com abatimentos superiores a 160 mm.

3.3.2 Produção do concreto e ensaios no estado fresco

Para a mistura do concreto foi utilizada betoneira de eixo inclinado com capacidade nominal de 320 litros. O agregado miúdo foi separado previamente e colocado em local coberto onde permaneceu até ficar seco. Inicialmente a betoneira foi imprimada com o traço 1:2:0,5 (cimento: areia média: água). Os materiais foram adicionados, com a betoneira em movimento, na seguinte ordem para todas as misturas:

1. Toda a brita (quando houve);
2. Toda a areia + EPS (quando houve);
3. Metade da água e metade aditivo;
4. Todo o cimento;
5. Restante de água e aditivo;

Os materiais foram misturados por cinco minutos. Na Figura 9 pode-se observar o concreto com EPS sendo misturado na betoneira.

Figura 9: Preparo do concreto com EPS em pérolas.

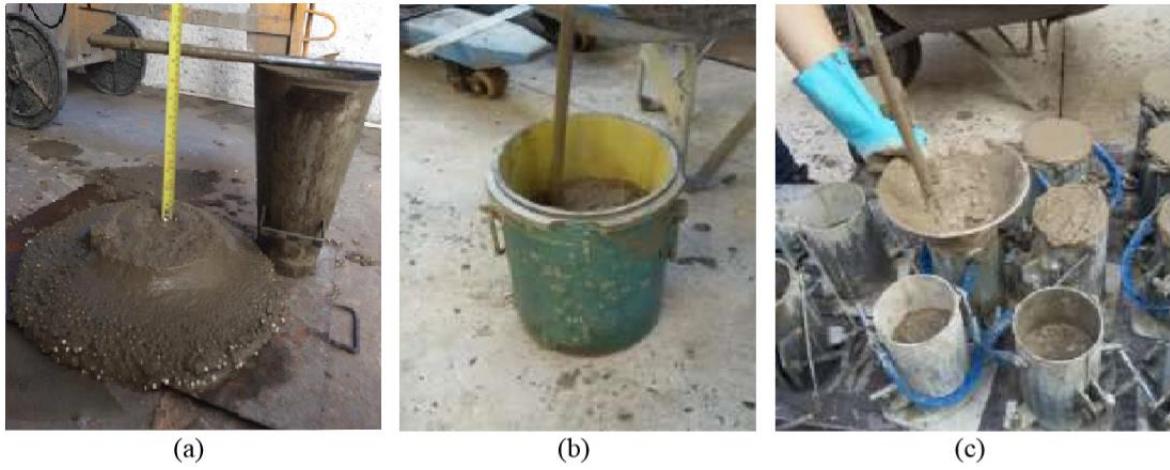


Fonte: Autor

Após a mistura inicial foi executado o ensaio de consistência pelo abatimento do troco de cone, realizado de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998 para a avaliação da

trabalhabilidade (Figura 10a), o ensaio para a determinação da massa específica no estado fresco foi realizado de acordo com a ABNT NBR 9833:2008 (Figura 10b), juntamente com a moldagem dos corpos de prova (Figura 10c).

Figura 10: a) Ensaio de abatimento do tronco de cone; b) Ensaio de determinação da massa específica no estado fresco; c) Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor.

3.3.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

As misturas de concreto foram moldadas em corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Conforme recomendado pela norma ABNT NBR 5738:2015 para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida pela metade, logo o preenchimento do cilindro foi feito em uma camada adensada por 12 golpes aplicados com uma haste metálica. Esses corpos de prova foram preparados para a determinação da resistência à compressão, massa específica, índice de vazios, absorção de água por imersão e por capilaridade.

Também foram moldadas placas de concreto com área de (30 cm x 30 cm), com 5 cm de espessura (Figura 11), para a avaliação das propriedades térmicas. As placas foram moldadas em formas de madeira compensada e adensadas em mesa vibratória.

Figura 11: Moldagem da placa de concreto



Fonte: Autor

Em seguida à moldagem, os corpos de prova cilíndricos e as placas foram colocados em câmara úmida na qual permaneceram durante um período aproximado de 24 horas. Após esse período os corpos de prova foram desmoldados e dispostos em um tanque onde permaneceram submersos em água saturada com cal até a idade de 28 dias.

Na Figura 12 pode ser observado os dois tipos de concreto com EPS logo antes da realização dos ensaios, o concreto com EPS reciclado (Figura 12a) e o concreto com EPS em pérolas (Figura 12b).

Figura 12: Concretos com EPS no estado endurecido



Fonte: Autor.

3.4 Ensaios dos concretos no estado endurecido

3.4.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a ABNT NBR 5739:2007. Aos 28 dias foram ensaiados quatro corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada tipo de concreto, moldados e curados conforme descrito anteriormente. Previamente a execução de ambos ensaios foi realizada a regularização dos corpos de prova com retífica e depois ensaiados na máquina universal de ensaios, marca EMIC DL 60000, como pode ser observado na Figura 13. O carregamento de ensaio foi aplicado continuamente e sem choques com a velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s.

Figura 13: Ensaio de determinação da resistência à compressão



Fonte: Autor

3.4.2 Massa específica e absorção de água por imersão

O ensaio para a obtenção da massa específica e absorção de água por imersão do concreto no estado endurecido foi realizado de acordo com a ABNT NBR 9778:2005. Ainda de acordo com essa norma, foi calculado o índice de vazios por imersão e fervura.

Aos 28 dias, foram ensaiados quatro corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada tipo de concreto, moldados e curados conforme descrito anteriormente.

Primeiramente as amostras permaneceram em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C durante 72 horas, após esse período foram retiradas e pesadas, obtendo-se assim a massa seca. Posteriormente as amostras foram imersas em água por um período de 72 horas. Completada

a etapa anterior, os corpos de prova foram dispostos em um recipiente com água que progressivamente foi levada a ebulação, mantida por um período de 5 horas. Foi aguardado até a água atingir a temperatura de 23 °C para então retirar os corpos de prova e registrar a massa em balança hidrostática. Posteriormente os corpos de prova foram secos com um pano úmido e então foi registrada a massa saturada. Foram realizados os cálculos indicados na ABNT NBR 9778:2005 e os resultados descritos na seção 4.2.2.

3.4.3 Absorção por capilaridade

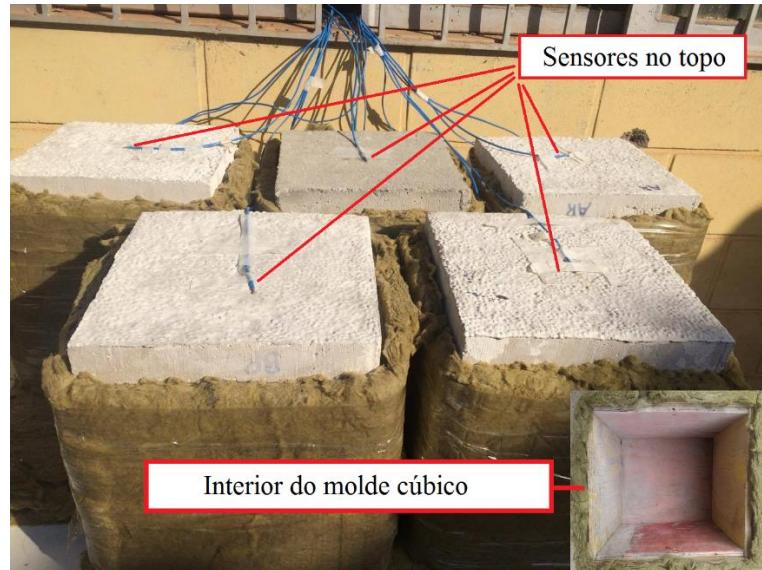
O ensaio para a determinação da absorção por capilaridade foi realizado de acordo com a ABNT NBR 9779:2012. Aos 28 dias, foram ensaiados quatro corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada tipo de concreto, moldados e curados conforme descrito anteriormente.

Os corpos de prova foram mantidos em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C até a constância de massa. Atingida a constância, os corpos de prova foram retirados da estufa e resfriados até a temperatura de 23 ± 2 °C quando foram pesados. Os corpos de prova foram, então, dispostos sobre suportes em um recipiente preenchido com água até a altura de 5 mm da base inferior. O nível da água foi mantido constante durante todo o ensaio. Em intervalos de tempo determinados pela ABNT NBR 9779:2012, os corpos de prova tiveram sua massa aferida. A partir do momento que os corpos de prova entraram em contato com a água, a pesagem foi realizada após 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h. Após a última pesagem, que ocorreu quando completadas 72 horas, a ABNT NBR 9779:2012 recomenda o rompimento das amostras ensaiadas por compressão diametral, de modo a permitir a observação da distribuição da água no seu interior. Foram realizados os cálculos dispostos na ABNT NBR 9779:2012, os resultados e imagens demonstrando a distribuição da água no interior dos corpos de prova podem ser visualizados na seção 4.2.2.

3.4.4 Ensaio térmico

Conforme já mencionado para avaliar o desempenho térmico através do fluxo de calor será adaptado o ensaio proposto por Shadnia, *et al.* (2015), foram produzidos cinco moldes cúbicos de compensado de madeira, com dimensões de 30cm x 30cm x 30cm. No topo de cada um dos cinco compartimentos foi colocada uma placa de (30cm x 30cm), com 5 cm de espessura de todos os tipos de concreto, o de referência (CR), com EPS em pérolas (CAP e CBP) e reciclado (CAR e CBR), conforme mostra a Figura 14.

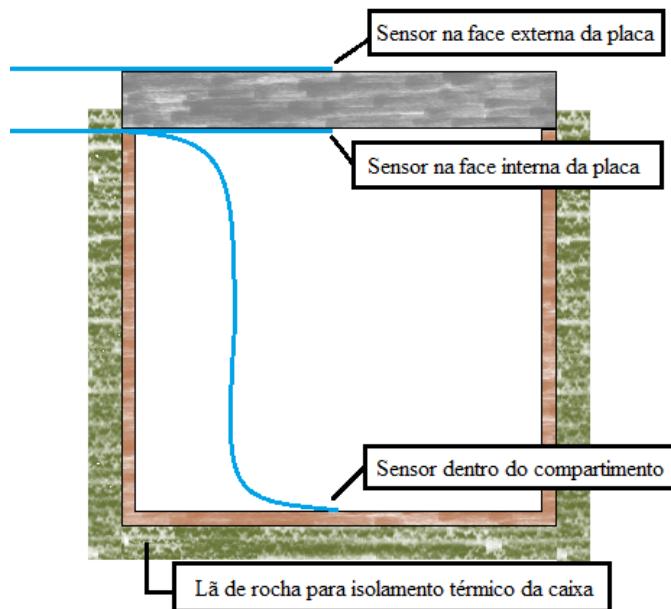
Figura 14: Sistema de moldes cúbicos com placas de concreto com EPS para os testes térmicos



Fonte: Autor.

Os moldes cúbicos foram envolvidos com lã de rocha para isolamento térmico dos mesmos. Por fim três sensores de temperatura (termopares), foram instalados em cada um dos compartimentos, sendo um na face externa da placa e outro na face interna da placa de concreto e o último no interior do compartimento de madeira, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15: Seção transversal do esquema do ensaio térmico proposto.



Fonte: Autor.

As cinco amostras foram colocadas em um espaço sem sombras ou obstruções em um dia ensolarado. Após ligar todos os sensores a um sistema de aquisição de dados, as temperaturas

foram registradas durante 24 horas (de 6:00 am às 6:00 pm). As temperaturas foram imediatamente medidas e armazenadas.

Este procedimento teve como intuito analisar a diferença de calor entre os 3 termopares de cada amostra e avaliar se houve o efeito de redução de calor no interior das caixas com as placas de concreto com EPS.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo são abordados os resultados dos ensaios realizados, de forma a facilitar a organização do trabalho, os resultados foram subdivididos em resultado no estado fresco, em que foram realizados os ensaios de abatimento e massa específica, e os resultados no estado endurecido. Os resultados no estado endurecido foram divididos primeiro no ensaio de compressão uniaxial aos 28 dias e posteriormente em ensaios para determinação de algumas propriedades físicas, tais como a massa específica, absorção de água por imersão, índice de vazios e ainda a absorção de água por capilaridade. Também são apresentados os resultados obtidos com o ensaio térmico.

4.1 Resultados no estado fresco

Como já descrito, foram utilizados concretos com consistência mais fluida, semelhante ao utilizado para construção em paredes de concreto.

Segundo Catoia (2012), o concreto com EPS, sendo composto por argamassa e pérolas de EPS, não possui agregado graúdo, apresentando normalmente uma fluidez maior que um concreto convencional.

Foi possível observar outras características importantes nesse ensaio, tais como: homogeneidade da mistura, ausência de segregação ou de flutuação do EPS, ausência de exsudação na superfície e nas bordas da porção espalhada.

Além do ensaio de abatimento, também foi feita a avaliação da massa específica do concreto no estado fresco, os resultados podem ser observados na Tabela 8. Nessa tabela foram mencionados novamente os teores de aditivo utilizados de forma a facilitar a comparação entre os resultados dos concretos estudados.

Tabela 8: Resultados de abatimento e massa específica no estado fresco

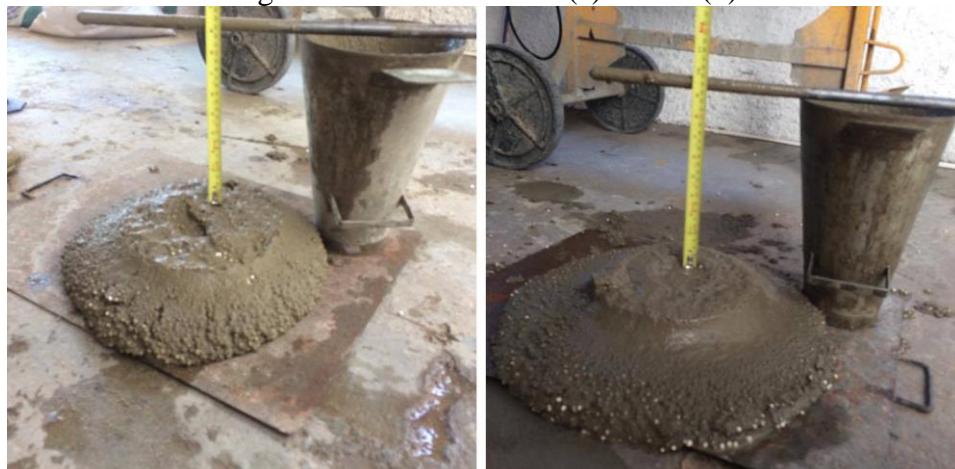
Propriedades Concretos	Abatimento (mm)	Massa Específica (g/cm³)	Teor de aditivo*
	CR	2,32	1,0%
CAP	215	1,74	1,0%
CAR	220	1,70	1,0%
CBP	225	1,65	1,0%
CBR	230	1,59	1,0%

*sobre a massa de cimento

Fonte: Autor.

Pode ser verificado que quando se adiciona o poliestireno expandido no concreto, seja por meio de pérolas ou reciclado, o abatimento aumenta, o que pode ser explicado devido a substituição do EPS ter sido feita por volume de agregado, pois como o EPS não é um material higroscópico, ou seja, não absorve água, sobrou mais água livre no sistema o que por sua vez aumentou o abatimento, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16: Concreto CAP (a) e CBP (b)

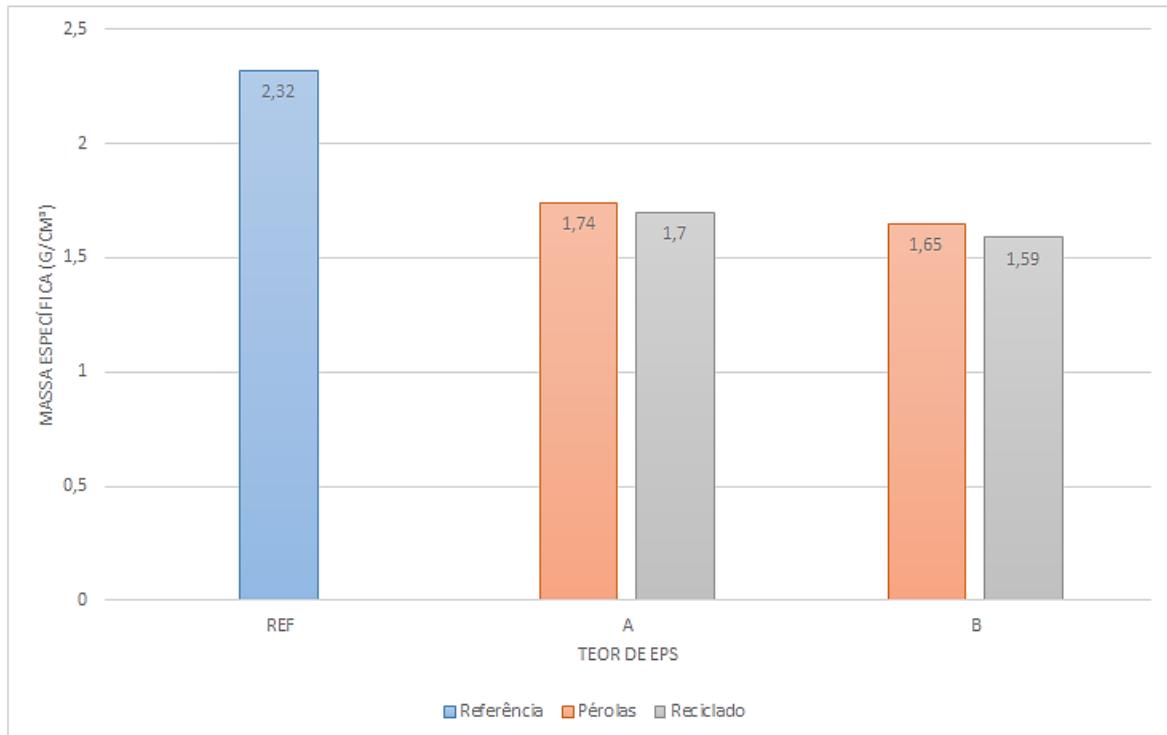


Fonte: Autor.

Em relação as massas específicas os concretos com EPS se mostraram obviamente mais leves que o concreto de referência, porém quando comparados entre si, os concretos com EPS em pérolas apresentaram massa específica superior as respectivas proporções de concreto com EPS reciclado, o concreto tipo A com pérolas de EPS (CAP) apresentou uma massa específica de 1,74 g/cm³, enquanto o resultado do seu teor correspondente com material reciclado (CAR) foi de 1,70 g/cm³. A mesma tendência também pode ser observada nos concretos do tipo B, o concreto com pérolas de EPS (CBP) apresentou uma massa específica de 1,65 g/cm³, enquanto o resultado do seu teor correspondente com material

reciclado (CBR) foi de 1,59 g/cm³. Tal fato pode ser explicado, pois conforme já demonstrado a massa específica do EPS em pérolas é maior que a do EPS reciclado. O gráfico da Figura 17 mostra essa variação.

Figura 17: Variação da massa específica para os tipos de concreto



Fonte: Autor.

4.2 Resultados no estado endurecido

4.2.1 Propriedades mecânicas

Conforme descrito anteriormente o ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 28 dias. Na Tabela 9 estão os resultados médios das resistências avaliadas.

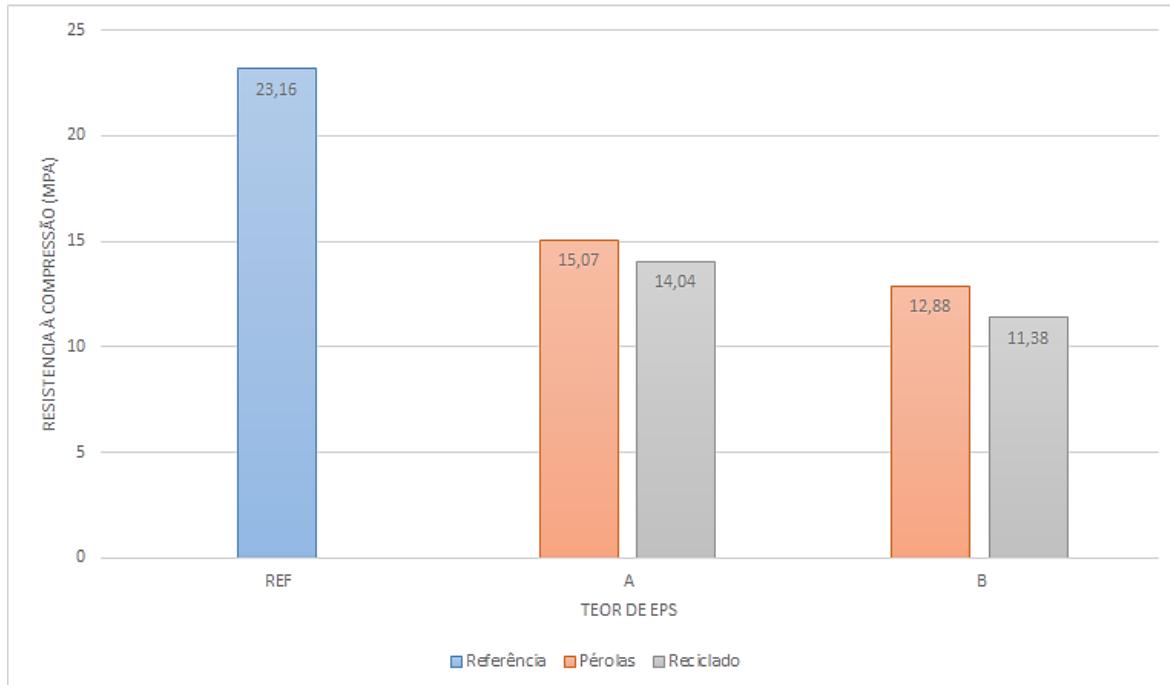
Tabela 9: Valores de resistência à compressão

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

Fonte: Autor.

Pode se notar que o acréscimo do EPS contribuiu de maneira negativa para a resistência à compressão do concreto. Os concretos com EPS em pérolas apresentaram uma resistência ligeiramente superior aos concretos com EPS reciclado, isso provavelmente deve-se ao fato do EPS em pérolas possuir uma estrutura mais rígida que o reciclado, comprovada pela sua maior massa específica. Os concretos do tipo A (CAP e CAR), apresentaram maior resistência em relação aos concretos do tipo B (CBP e CBR), o que era de se esperar, haja vista os concretos do tipo B apresentam um volume maior de EPS em relação ao tipo A. Os concretos com EPS não atingiram a resistência de 20 MPa, mínima estabelecida pela ABNT NBR 6118:2014 para fins estruturais. No entanto, sabe-se que a solicitação máxima à compressão no concreto das residências unifamiliares construídas em paredes de concreto é inferior a 1 MPa. Além disso, pelos resultados obtidos observa-se que provavelmente seria possível dosar um concreto com EPS com resistência de 20 MPa, reduzindo-se o teor de EPS em relação a mistura A, como pode ser observado no gráfico da Figura 18.

Figura 18: Resistência à compressão pelo tipo de concreto



Autor.

4.2.2 Propriedades físicas

Os ensaios para a determinação da massa específica, absorção por imersão e índice de vazios foram realizados aos 28 dias. Os resultados obtidos são descritos na Tabela 10.

Tabela 10: Absorção por imersão, índice de vazios e massa específica dos concretos utilizados

Concretos	Propriedades	Absorção (%) com (desvio padrão)	Índice de Vazios (%) com (desvio padrão)	Massa Específica (g/cm³) com (desvio padrão)
CR		8,83 (0,67)	17,66 (1,37)	2,24 (0,06)
CAP		16,30 (0,71)	25,56 (0,94)	1,66 (0,11)
CAR		15,30 (0,98)	24,14 (1,64)	1,62 (0,09)
CBP		18,16 (0,93)	27,34 (1,23)	1,56 (0,10)
CBR		13,98 (0,27)	21,21 (0,97)	1,50 (0,08)

Fonte: Autor.

Previamente à discussão dos resultados serão apresentadas algumas definições de acordo com a ABNT NBR 9778:2005.

A Absorção de água por imersão é o mecanismo pelo qual a água é conduzida e tende a preencher os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, além disso é também definido como o aumento de massa de um corpo sólido poroso resultante da penetração de água em seus poros permeáveis, tendo como referência sua massa em estado seco. Índice de vazios é a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra. A massa específica contida na tabela é a massa específica seca, definida como a massa específica do material seco e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis.

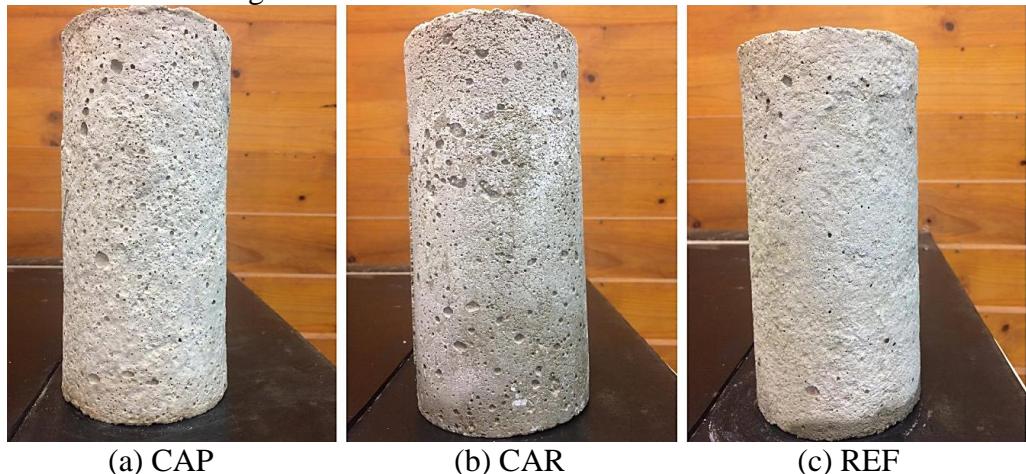
Observando a Tabela 10 pode-se notar que tanto a presença quanto o incremento do EPS aumentaram a absorção e o índice de vazios e reduziram a massa específica.

Isso ocorreu, pois a tendência ao se adicionar EPS em concretos é o aumento da incorporação de ar durante a mistura, aumentando consequentemente a absorção e a porosidade. Esse fenômeno pode ser observado em todos os concretos com EPS seja em pérolas ou reciclado.

Avaliando os resultados obtidos a adição do EPS por pérolas demonstraram maior absorção e índice de vazios que os concretos com EPS reciclado, o concreto CBP apresentou a maior absorção de 18,16 % e o maior índice de vazios de 27,34%. Esse fato pode ser explicado devido aos concretos do tipo B possuírem uma maior quantidade de EPS em sua constituição, além disso, aparentemente as pérolas parecem ter a capacidade de adicionar mais vazios a mistura, talvez devido ao seu formato esférico e sua composição granulométrica uniforme.

A Figura 19 mostra a porosidade na superfície dos concretos, na Figura 19a está representado o concreto com EPS em pérolas, na Figura 19b o concreto com EPS reciclado e na 19c o concreto de referência.

Figura 19: Porosidade nos concretos com EPS



Fonte: Autor.

Em relação as massas específicas os concretos demonstraram a mesma tendência dessa propriedade no estado fresco. O concreto tipo A com pérolas (CAP) apresentou uma massa específica de $1,66 \text{ g/cm}^3$, enquanto o resultado do seu correspondente com EPS reciclado CAR foi de $1,62 \text{ g/cm}^3$. A mesma tendência também pode ser observada nos concretos do tipo B, o concreto CBP apresentou uma massa específica de $1,56 \text{ g/cm}^3$, enquanto o resultado do seu correspondente CBR foi de $1,50 \text{ g/cm}^3$.

O ensaio para avaliação da absorção por capilaridade foi realizado aos 28 dias, os valores de absorção de água por capilaridade (C) obtidos após 3, 6, 24, 48 e 72 horas de imersão parcial encontram-se na Tabela 11.

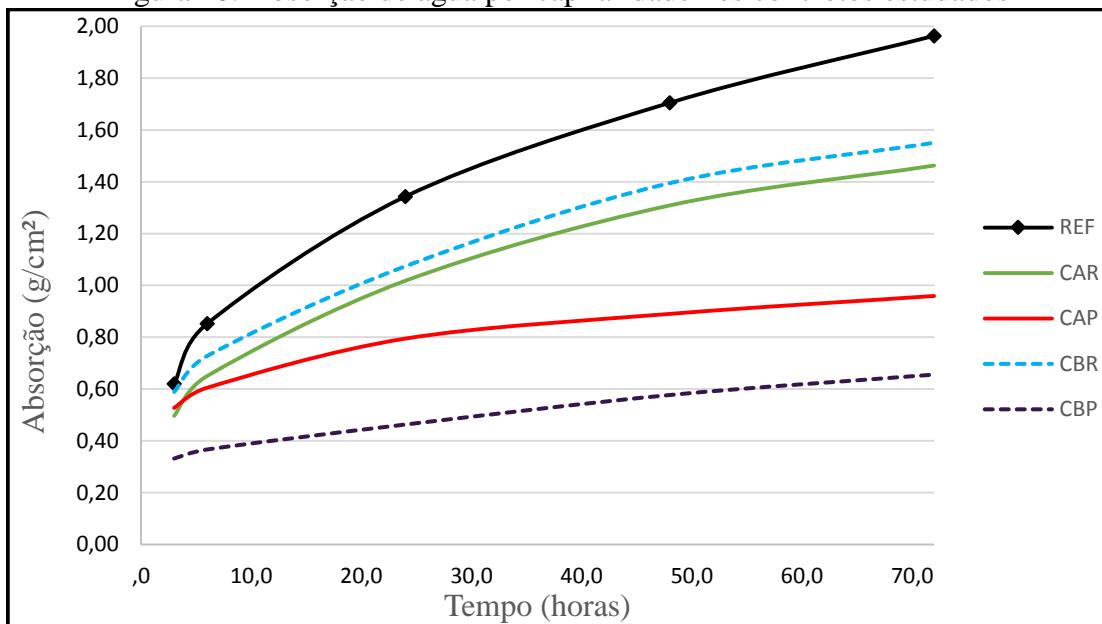
Tabela 11: Absorção de água por capilaridade nos concretos estudados

Propriedades	C 3h (g/cm ²)	C 6h (g/cm ²)	C 24h (g/cm ²)	C 48h (g/cm ²)	C 72h (g/cm ²)
Concretos					
CR	0,62	0,85	1,34	1,70	1,96
CAP	0,53	0,61	0,79	0,89	0,96
CAR	0,50	0,65	1,02	1,31	1,46
CBP	0,33	0,37	0,46	0,58	0,66
CBR	0,59	0,73	1,07	1,39	1,55

Fonte: Autor.

Na Figura 20, apresenta-se o gráfico relacionado a absorção de água por capilaridade para cada teor e tipo de EPS pelo tempo, a fim de facilitar a visualização do comportamento de cada um dos concretos estudados.

Figura 20: Absorção de água por capilaridade nos concretos estudados

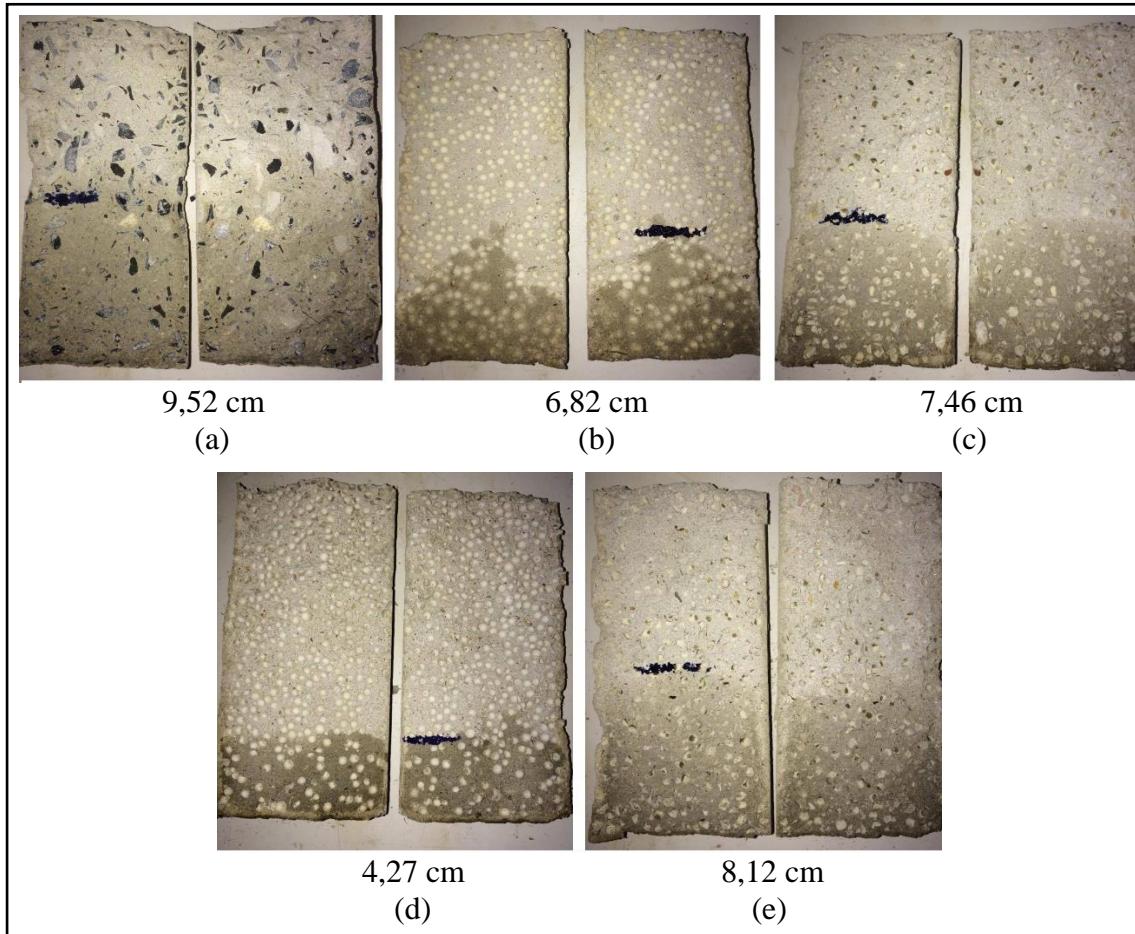


Fonte: Autor

Contrário ao que foi constatado no ensaio de absorção por imersão, o concreto com maior absorção de água por capilaridade foi o concreto de referência e o concreto com menor absorção de água por capilaridade foi o concreto tipo B com pérolas (CBP). Observa-se de acordo com o gráfico da Figura 20 uma tendência do EPS, principalmente em teores maiores, provocarem uma diminuição da absorção capilar. Avaliando a absorção 72 horas após a imersão parcial em água a adição do EPS por perolas demonstrou maior eficácia na redução da absorção por capilaridade, o concreto CBP apresentou uma redução de 66,33% e o concreto CAP apresentou uma diminuição de 51,02%, ambos em relação ao concreto de referência. Já os concretos com EPS reciclado apresentaram uma redução considerável, porém menores que os concretos com EPS em pérolas, o concreto CAR apresentou uma redução de 25,51% e o concreto CBR apresentou uma redução de 20,92% em relação ao concreto de referência.

Após a última pesagem os corpos de prova foram rompidos para a realização da medição da altura da ascensão capilar interna. Na Figura 21 estão apresentadas as seções dos corpos de prova rompidos, assim como a medida de sua respectiva ascensão capilar. Foram feitas marcações nos corpos de prova para facilitar a visualização da transição da parte úmida para a parte seca do concreto.

Figura 21: Absorção de água por capilaridade a) CR; b) CAP; c) CAR; d) CBP; e) CBR



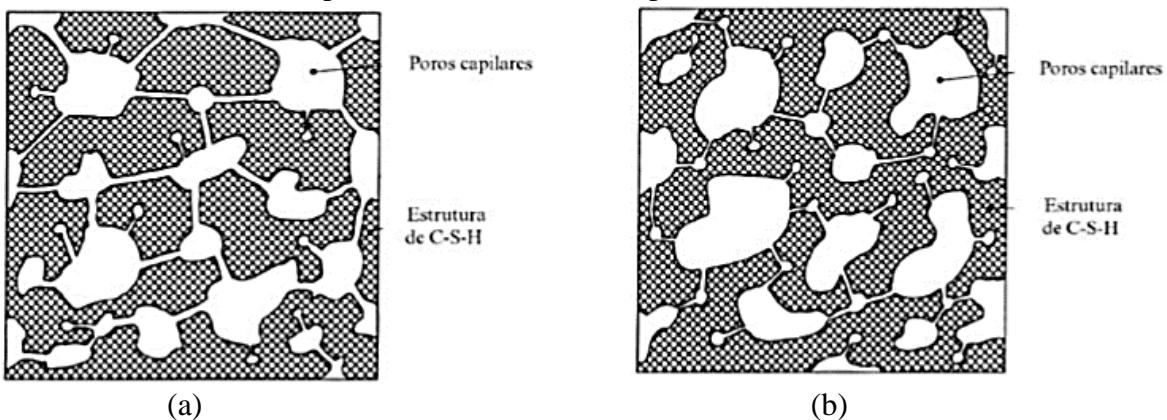
Fonte: Autor

De acordo com Helene (1993) a absorção capilar é o meio mais comum e intenso de penetração de agentes agressivos no concreto. Ainda de acordo com o mesmo autor a absorção capilar é um dos fatores mais difíceis de serem controlados pelo fato de o concreto ser um material hidrófilo (possui grande afinidade com água). Quanto menor o diâmetro dos poros capilares, maiores serão as pressões capilares desenvolvidas e, consequentemente, maior a profundidade de concreto atingida pela água absorvida. Em contrapartida, quanto maior o diâmetro desses poros capilares menor a profundidade, porém maior a quantidade de água absorvida, contudo, um item de maior importância que o diâmetro desses capilares é a interconectividade entre eles.

De acordo com Neville e Brooks (2013) a permeabilidade não é simplesmente função da porosidade, é possível que dois corpos de prova possuam porosidades semelhantes, porém permeabilidades diferentes, ou seja, somente a presença de uma abertura conectando os poros capilares resulta em uma grande capilaridade, enquanto que a porosidade continua a

mesma. Na Figura 22a tem-se um material que apresenta alta permeabilidade com poros capilares interconectados e na Figura 22b tem-se um material com a mesma porosidade do anterior, porém com poros capilares apenas parcialmente conectados.

Figura 22: Representação esquemática de materiais com porosidade similar a) alta permeabilidade; b) baixa permeabilidade



Fonte: Neville e Brooks (2013).

A presença do EPS aumentou a porosidade e a absorção total dos concretos, mas por outro lado parece ter gerado poros maiores e diminuído a interconexão entre esses poros, reduzindo-se assim as pressões capilares e, consequentemente, a absorção por capilaridade.

De modo a minimizar o efeito da absorção, Mostardeiro (2011) e Barin (2008) sugerem que a absorção capilar pode ser controlada com o uso de incorporadores de ar, que permitem interromper a comunicação entre os poros pela incorporação de bolhas em seu interior, reduzindo a capilaridade do conjunto.

De acordo com Catoia (2012), o EPS é responsável pela redução da massa específica do concreto e atua como agregado graúdo e como incorporador de ar.

Portanto, como o EPS atua praticamente como um agente incorporador de ar no concreto, pode-se deduzir que essas bolhas de ar em seu interior interrompem a comunicação entre os poros capilares.

4.2.3 Propriedades térmicas

Para facilitar a compreensão e análise dos resultados o sensor da face externa da placa foi denominado (1), o sensor da face interna da placa denominado (2) e o sensor do interior do compartimento (3). Para exemplificar, o sensor da face externa da placa do concreto de referência será denominado CR-1, na Tabela 12 pode ser observada todas as nomenclaturas.

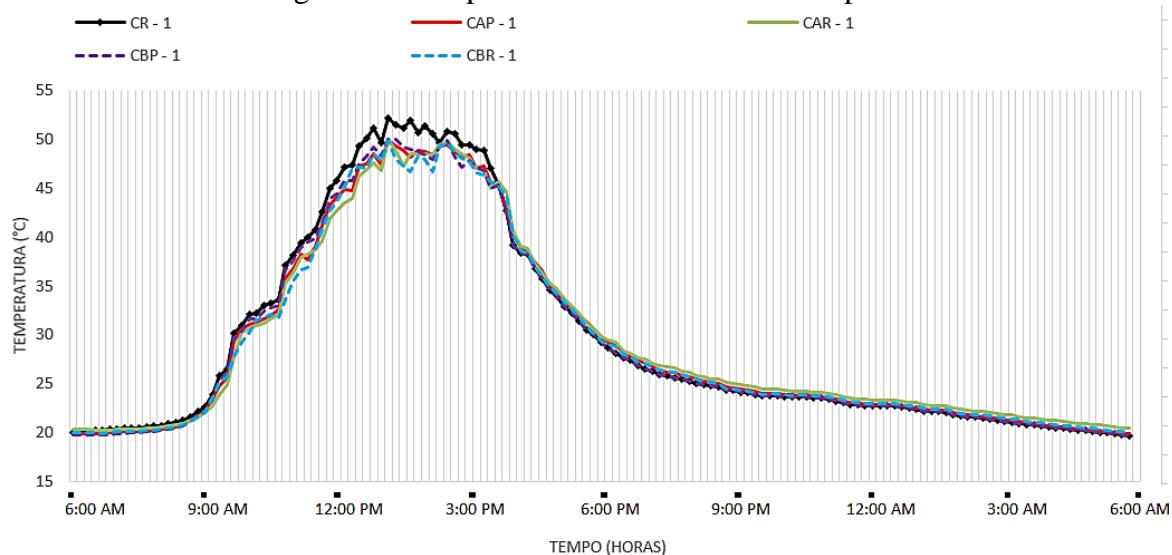
Tabela 12: Nomenclatura dos sensores para cada tipo de concreto

Local do sensor	Tipo do Concreto				
	CR	CAP	CAR	CBP	CBR
Face externa da Placa	CR - 1	CAP - 1	CAR - 1	CBP - 1	CBR - 1
Face interna da Placa	CR - 2	CAP - 2	CAR - 2	CBP - 2	CBR - 2
Interior do Compartimento	CR - 3	CAP - 3	CAR - 3	CBP - 3	CBR - 3

Fonte: Autor

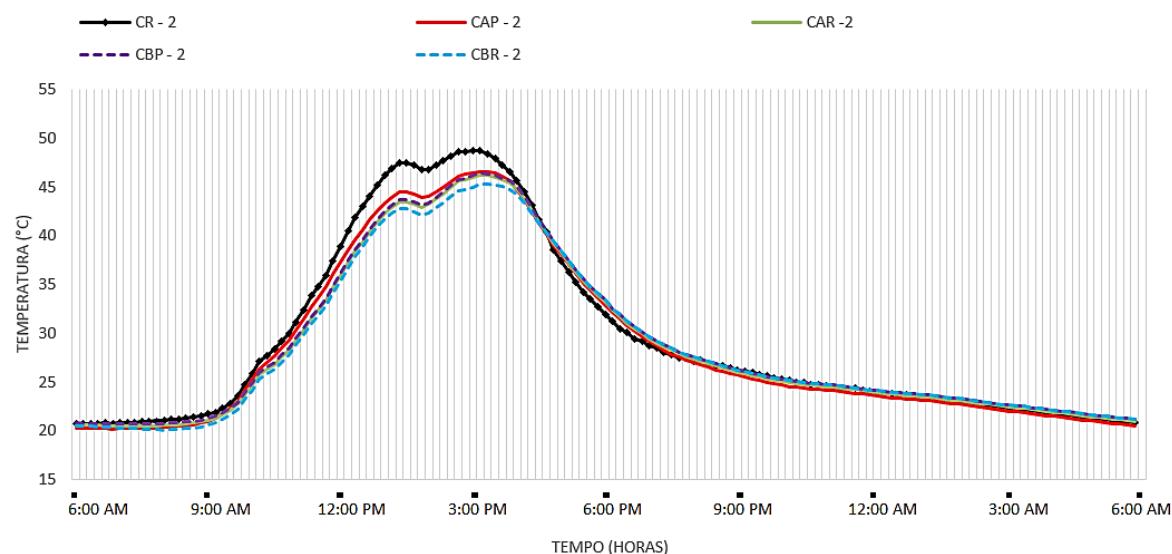
As Figuras 23, 24 e 25 mostram, respectivamente, as temperaturas na face externa da placa, na face interna da placa e do ar no interior do compartimento medidas durante 24 horas para as cinco amostras.

Figura 23: Temperaturas na face externa das placas



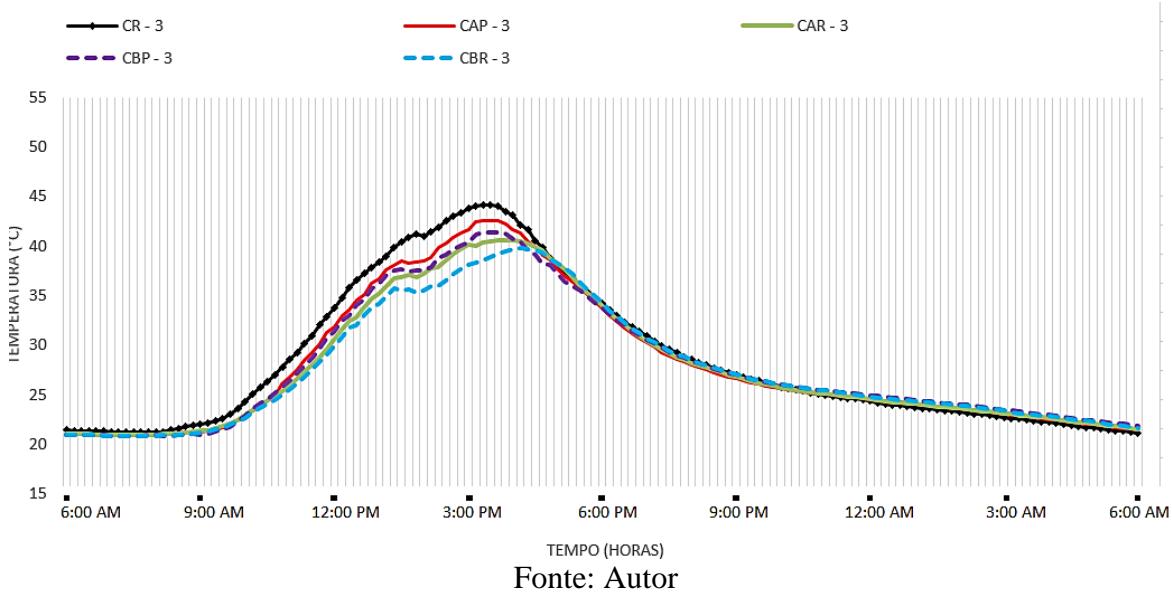
Fonte: Autor

Figura 24: Temperaturas na face interna das placas



Fonte: Autor

Figura 25: Temperaturas no interior dos compartimentos



Fonte: Autor

A Figura 24 indica que a temperatura na face interna das placas contendo EPS começa a subir alguns minutos mais tarde do que a da placa do concreto de referência. Durante o período de aumento da temperatura das 8:00 am as 3:00 pm a superfície do fundo das placas com EPS ficaram em média de 1,6°C a 2,9°C mais baixa que a placa não contendo EPS, sendo que, a maior diferença de temperatura aconteceu às 1:40 pm entre o sensor da face interna da placa do concreto de referência (CR-2) e o sensor do concreto tipo B com EPS reciclado (CBR-2) no valor de 4,7°C.

Obviamente, o tempo de atraso na elevação da temperatura para os concretos do tipo B são maiores do que dos concretos do tipo A. Também pode ser visto a partir da Figura 24 que após os picos de temperaturas, o tempo que a temperatura começa a cair é levemente retardado com o acréscimo de EPS. Assim, o EPS tem a função de atenuar na variação da temperatura interna em função da mudança de temperatura no exterior do compartimento.

As temperaturas medidas no interior dos compartimentos mostram tendências semelhantes aos da face interna das placas, como pode ser observado nas Figuras 24 e 25, respectivamente.

Durante o período de aumento da temperatura das 8:00 am as 3:00 pm a temperatura do ar dentro dos compartimentos contendo EPS ficaram em média de 1,8°C e 3,6 °C mais baixa do que a do compartimento do concreto de referência, sendo que, a maior diferença de temperatura aconteceu às 2:30 pm entre o sensor do interior do compartimento do concreto de referência (CR-3) e o sensor interno do concreto tipo B com EPS reciclado (CBR-3) no

valor de 6,0°C. Com relação ao tempo de atraso na elevação da temperatura, os concretos com EPS reciclado (CAR e CBR) se mostraram mais eficazes do que os concretos com EPS em pérolas (CAP e CBP), principalmente o CBR que exibiu um atraso de até 60 minutos em relação ao concreto de referência.

A Tabela 13 mostra uma correlação entre a temperatura máxima e em qual horário ela ocorreu para cada um dos sensores analisados.

Tabela 13: Correlação entre a maior temperatura e o seu respectivo horário

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

Fonte: Autor

Analizando os resultados da Tabela 13 fica bem nítido como a incorporação do EPS influenciou na diminuição da temperatura e no atraso da ascensão da mesma, principalmente no concreto tipo B com EPS reciclado (CBR).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Neste trabalho foram estudadas as propriedades do concreto com adição de EPS em pérolas e reciclado. O intuito foi realizar uma comparação entre as propriedades do concreto com esses dois tipos de EPS para uma possível aplicação em paredes estruturais.

É importante destacar que os resultados demonstrados aqui apresentam apenas uma tendência das propriedades físicas e mecânicas do concreto com adição de EPS. Para um estudo mais detalhado faz-se necessário um maior número de repetições além da realização de outros ensaios a fim de complementar os resultados obtidos.

Em geral, os concretos estudados apresentaram propriedades mecânicas inferiores ao concreto utilizado como referência. Em relação as propriedades físicas, a absorção por capilaridade e as propriedades térmicas apresentaram resultados melhores nos concretos com EPS.

Quanto a resistência à compressão, todos os concretos com EPS apresentaram resistências inferiores ao concreto de referência. Dentre os concretos com EPS o melhor desempenho foi do concreto com menor teor de EPS em pérolas (CAP), que apresentou uma resistência de 15,07 MPa que corresponde a 34,93% inferior ao concreto de referência, já o pior resultado foi do concreto com maior teor de EPS reciclado (CBR), que apresentou uma resistência de 11,98 MPa que equivale a um decréscimo de 50,86% nesse quesito. Os concretos com EPS em pérolas apresentaram maiores resistência à compressão, pois as pérolas possuem estrutura mais rígida do que o material reciclado.

A absorção por imersão e índice de vazios, apresentaram aumentos com a adição de EPS, principalmente o concreto com maior teor de EPS em pérolas (CBP), que apresentou absorção de 18,16% e 27,34% de índice de vazios. Já os menores valores para os concretos com EPS nessas propriedades foi obtido com o concreto com maior teor de EPS reciclado (CBR) que apresentou uma absorção de 13,12%, provavelmente devido a forma e

composição granulométrica do material reciclado, que apresenta maior variação que as pérolas por ter partículas de diferentes formatos e de tamanhos mais variados, concedendo um maior empacotamento das partículas no concreto.

Em relação a absorção por capilaridade os concretos com EPS apresentaram resultados melhores que o concreto de referência, principalmente o concreto com maior teor de EPS em pérolas (CBP), apresentou uma redução de 66,33% em relação ao concreto de referência. Uma explicação plausível seria a tendência do EPS, principalmente em maiores teores, de proporcionar ao concreto poros maiores, além de diminuir a interconexão entre os poros capilares, reduzindo-se assim as pressões capilares e, consequentemente, a absorção por capilaridade.

Quanto às propriedades térmicas todos os concretos com EPS demonstraram ser mais eficazes que o concreto de referência. Todos apresentaram uma redução na temperatura máxima nas faces externas e internas das placas o que consequentemente levou a uma redução da temperatura no interior das caixas. O melhor desempenho foi do concreto com maior teor de EPS reciclado (CBR), que apresentou uma queda de até 6,0°C no interior do compartimento comparado ao concreto de referência.

Em relação ao ensaio térmico fica bem claro que a incorporação do EPS nos concretos resultou na diminuição da temperatura nas faces das placas e no interior dos compartimentos e no atraso da ascensão da temperatura.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Uma vez que o estudo do concreto já apresenta complexidades devido à grande variabilidade de suas propriedades de acordo com a forma de mistura, materiais utilizados, moldagem dos corpos de prova entre outros, a adição de EPS torna a caracterização do comportamento de concreto ainda mais complicada, sendo necessário, portanto, um estudo mais detalhado para a comprovação dos seus efeitos quando adicionadas às misturas. Para isso sugerem-se como pesquisas futuras:

- Estudos relativos a avaliação da microestrutura do concreto com adição de EPS, avaliando, dentre outros, a distribuição e as dimensões dos poros;
- Possíveis ações para melhorar a resistência à compressão dos concretos com EPS, como diminuir o teor de EPS ou reduzir o tamanho das partículas de EPS, ou ainda combinar diferentes dimensões, tanto das partículas de EPS como dos agregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **O EPS na construção civil.** Disponível em <<http://www.abrapex.com.br>>. Acesso em: 26 de junho 2017.

AMBIENTEBRASIL. Reportagem Especial: **Isopor é 100% reciclável, mas processo esbarra na completa falta de logística.** Junho de 2008. Disponível em <<http://noticias.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 26 de julho 2017.

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho.** Tradução: SERRA, G. G. São Paulo: Pini, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete.** ACI 213R-87. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 27p., 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **ABNT NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 11579:** Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15575:** Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 16055:** Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

- _____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR NM 35:** Agregados leves para concreto estrutural - Especificação. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR NM 67:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- BABU, K.G., BABU, D.S.: **Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume.** *Cem. Concr. Res.* 2249, 1–8, 2002.
- BARIN, D. S. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico.** Santa Maria, 2008, 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- BERNARDY, F. C. *et al.* Desenvolvimento de uma coleção de óculos de sol a partir da reciclagem de poliestireno expandido. 16p. 5º Fórum Internacional Ecoinovar, Santa Maria – RS, 2016.
- BORGES, A. P. S. N. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais.** 96 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- BOUVARD, D. *et al.* **Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete.** *Cem Concr Res.* 37(12):1666–73, 2007.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL – CEF. **Números – Acompanhe o maior programa habitacional brasileiro.** 2015. Disponível em: <<http://mcmv.caixa.gov.br/numeros/>>. Acesso em: 01 de agosto 2017.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **ABNT publica norma de desempenho 15.575 – Desempenho de edificações habitacionais.** 2015.

Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/abnt-publica-norma-de-desempenho-15-575-desempenho-de-edificacoes-habitacio>>. Acesso em: 05 de agosto 2017.

CARVALHO L. F. **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos.** 113 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: Caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes.** Tese de doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.

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

COOK, D.J. **Expanded polystyrene beads as lightweight aggregate for concrete,** Precast Concr. 4 (1973) 691– 693.

CORSINI, R. **Paredes Normalizadas.** Revista techne, São Paulo, ano 20, n. 183, p. 40-46, jun. 2012.

DINÂMICA AMBIENTAL. **Isopor é reciclável? Saiba como deve ser feito o descarte de isopor.** Disponível em <<http://www.dinamicambiental.com.br>>. Acesso em: 26 de julho 2017.

EUROLIGHTCON. Project BE96-3942/R2. **LWAC Material Properties, State-of-the Art.** 111 p., 1998.

EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) - **A lightweight closed-cell insulation with endless applications** [s.d.] Disponível em <<https://insulationcorp.com/eps/>>. Acesso em: 17 de maio 2017.

FERREIRA, D. V. G. **Edifícios com lajes maciças e paredes portantes prémoldadas de concreto leve com pérolas de EPS,** 2013. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

FJP - Fundação João Pinheiro. **Nota Técnica Déficit Habitacional no Brasil Anos 2011 e 2012.** Centro de Estatística e Informações – CEI, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/>> Acesso em: 11 de agosto de 2017.

HELENE, P. R. do L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HOLM T. A.; BREMNER. T. W. **State-of-the-art report on high-strength, high durability structural low-density concrete for applications in severe marine**

environments. US Army Corps of Engineers – Engineer Research Development Center. ERDC/SL TR-00-3. 116 p., 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730: Moderate thermal environments - **Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** 1994.

KRÜGER, P. G. V. et al. **Avaliação comparativa de desempenho térmico de painéis de vedação para edificações em estruturas metálicas,** In: Anais do 2º Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza, 1999.

LAMBERTS, R. (2005). **Desempenho Térmico de Edificações. Disciplina:** ECV 5161 Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, LABEEE. Florianópolis, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L; E PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Eletrobras/Procel, 3ª edição. Rio de Janeiro, 2014.

LEITE, B. M. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001 Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIU, N.; CHEN B. **Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete,** Construction and Building Materials, v. 68, p. 227–232, 2014.

MANO, E.B., **Polímeros como materiais de engenharia,** Edgard Blucher, São Paulo – SP, 1999.

MARQUES, C.S. **Análise crítica da norma de desempenho, ABNT NBR 15575: 2013 com ênfase em durabilidade e manutenabilidade.** 2015. 74f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Materiais de Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MEDEIROS, K. F. et al. **Análise das propriedades físicomecânicas em blocos de cimento, com adição de isopor, sem função estrutural.** I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica Natal-RN - 2006.

MONTEIRO, M. A. et al. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos de isopor – PGIRI.** Belo Horizonte - Minas Gerais. Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2011. 52 p.; il.

MOSTARDEIRO, C. Z. **Absorção capilar e resistividade elétrica de concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico.** Santa Maria, 2011, 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1982.

- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J., **Tecnologia do concreto**, 2^a Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- OLIVEIRA, C. P. *et al.* **Avaliação do sistema construtivo de paredes de concreto moldado no local à luz das normas de desempenho.** In: 58 Congresso Brasileiro do Concreto, 2016, Belo Horizonte. 58º Congresso Brasileiro do Concreto, 2016. v. 1. p. 1-9.
- OZÓRIO, B. P. M. **Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas.** 2016. 154p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- PARANT, E.; LE ROY, R. **Optimisation des bétons de densité inférieure à 1.** Tech. rep., Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1999.
- PIMENTEL, S. O. **Planejamento e déficit habitacional: estudo de caso a partir do cadúnico com beneficiários do programa bolsa família na zona norte de Natal.** 124 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Políticas Públicas. Programa de Pós-Graduação em Estudos Urbanos e Regionais, Natal, 2015.
- ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto estrutural leve.** In: ISAIA, G. C. *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*, vol. 2. 2005.
- ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura.** 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações.** São Paulo: PINI, 2009.
- SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concretos moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos.** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- SANTOS, A. **Paredes de concreto já dominam Minha Casa Minha Vida.** 2016. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/>>. Acesso em: 11 de agosto de 2017.
- SANTOS, R. D. **Estudo térmico e de materiais de um compósito à base de gesso e EPS para construção de casas populares.** 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- SARTORTI, A. L. **Comportamento dinâmico de lajes maciças de concreto leve com pérolas de EPS.** 2015. 352p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

- SAYADI A. A. *et al.* Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. Construction and Building Materials, v. 112, p. 716–724, 2016.
- SCHACKOW, A. *et al.* Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. Construction and building materials, v. 57, p. 190-197, 2014.
- SHADNIA, R. *et al.* Experimental study of geopolymers mortar with incorporated PCM. Construction and building materials, v. 84, p. 95–102, 2015.
- SILVA, S. Z. R. S. **A percepção do usuário de habitação unifamiliar em relação ao sistema construtivo industrializado – avaliação do grau de satisfação.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- SOUZA, L.G.M. **Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar.** Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da UFRN, Natal – RN, 2002.
- TANG, W.C.; LO, Y.; NADEEM, A. Mechanical and drying shrinkage properties of structural graded polystyrene aggregate concrete. Cement and Concrete Composites, 30 (2008) 403 – 409
- TESSARI J.; ROCHA J. C. Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil. Desempenho de Sistemas Construtivos. p.2, Santa Catarina, 2006.
- VIEIRA, C. C. **Desempenho térmico de painéis de concreto leve.** São Paulo: USP. Monografia apresentada à disciplina SAP 5820 A utilização de novos materiais na tecnologia do concreto. Departamento de Arquitetura e Planejamento – EESC, Universidade Federal de São Paulo, 2005.