

UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) COMO AGREGADO LEVE EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETOS

USE OF EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) AS LIGHTWEIGHT AGGREGATE TO REPLACE COARSE AGGREGATE IN CONCRETE MANUFACTURING

Danyelee Maciel Gonçalves ¹, Fernanda Eduarda Atanazio Silva ², Joaquim Orlando Parada ³, Robson de Oliveira Félix ⁴, Jéssica Nayara Dias ⁵

¹ Graduação em Engenharia civil/FEJA – Campus Ceres – danyelemaci18@gmail.com

² Graduação em Engenharia civil/FEJA – Campus Ceres – fernanda_eduarda06@hotmail.com

³ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – joaquim.parada@unievangelica.edu.br

⁴ Professor do curso de Engenharia Civil/FACEG – robsonfelix.eng2014@hotmail.com

⁵ Professora do curso de Engenharia Civil/FEJA – jessicadias.engenharia@gmail.com

Resumo: O Poliestireno Expandido (EPS) - popularmente conhecido no Brasil como Isopor - é um plástico rígido composto por apenas 2% de matéria-prima e 98% de ar, sendo caracterizado como um material extremamente leve, o que dificulta a viabilidade econômica para reciclagem. Têm-se, de forma geral, um descarte de forma indevida desse material, que poderia ser reutilizado ou reciclado. Partindo do exposto, o objetivo deste trabalho foi comparar a resistência do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo pelo EPS em três porcentagens distintas com a do concreto de referência. Para a realização deste estudo, foram confeccionados quatro traços de concreto, um com os materiais convencionais e os demais com a substituição mencionada nas seguintes porcentagens: 5, 10 e 15%. Após os corpos de prova serem deixados em cura por imersão, estes foram ensaiados à compressão axial nas idades de 7 e 28 dias. Os resultados apresentados nos testes mostraram uma queda na resistência à compressão com o acréscimo da substituição do EPS quando comparados ao do traço sem substituição. Outro fator relevante é que os resultados obtidos para os compósitos cimentícios foram todos inferiores ao mínimo estipulado por norma para classificá-los como concreto estrutural. No entanto, todos os traços com substituição de agregado graúdo por EPS pode ser classificado como concreto leve, uma vez que atingiram os valores esperados, em termos de massa específica, para essa conclusão e, apesar de não poder ser utilizado com finalidade estrutural, este pode ser empregado em outras aplicações da construção civil.

Palavras-chave: Concreto leve; Agregado graúdo; Poliestireno expandido; Resistência à compressão.

Abstract: Expanded Polystyrene (EPS) - popularly known in Brazil as Styrofoam - is a rigid plastic composed of just 2% raw material and 98% air, being characterized as an extremely light material, which makes economic viability for recycling difficult. In general, this material is improperly disposed of, which could be reused or recycled. Based on the above, the objective of this work was to compare the strength of concrete with partial replacement of coarse aggregate by EPS in three different percentages with that of reference concrete. To carry out this study, four mixes of concrete were made, one with conventional materials and the others with the replacement mentioned in the following percentages: 5, 10 and 15%. After the specimens were left to cure by immersion, they were tested for axial compression at ages of 7 and 28 days. The results presented in the tests showed a drop in compressive strength with the addition of EPS replacement when compared to the mixture without replacement. Another relevant factor is that the results obtained for cementitious composites were all lower than the minimum stipulated by standard to classify them as structural concrete. However, all mixes with replacement of coarse aggregate by EPS can be classified as lightweight concrete, since they reached the expected values, in terms of specific mass, for this conclusion and, despite not being able to be used for structural purposes, this It can be used in other civil construction applications.

Keywords: Light concrete; Coarse aggregate; Expanded polystyrene; Compressive strength.

INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento sempre foi finalidade de todas as economias do mundo. O avanço tecnológico é o principal indício do crescimento econômico mundial. Neste sentido, diversos países têm investido cada vez mais em novas tecnologias de produção. Com o aumento da produção e, conseqüentemente, dos resíduos sólidos produzidos e, devido à rigorosa fiscalização dos órgãos de controle ambiental, muitas empresas precisaram buscar alternativas ecologicamente corretas e econômicas para resolver os problemas de impacto ambiental. Um dos setores que mais causam impactos negativos ao meio ambiente é o da construção civil, no entanto, como um importante setor de movimentação da economia, as estratégias para reverter esse quadro têm que ser minuciosamente estudadas.

O material de construção mais utilizado em todo o mundo é o concreto de Cimento Portland, pois além de sua matéria prima ser de fácil acesso, a produção é facilmente adaptada às condições do local. Sendo um dos componentes mais utilizados na Construção Civil, o concreto apresenta propriedades que o classificam como um material de elevada resistência e que, dificilmente, poderá ser substituído por outros materiais [1]. O concreto estrutural tradicional responde por uma grande parcela do peso próprio de qualquer estrutura, o que impacta diretamente no custo da fundação [2].

A necessidade social por moradias com custos cada vez menores e de rápida execução impulsiona o surgimento de novos materiais de construção, com características ainda pouco conhecidas. Nesse cenário, o concreto leve, apesar de não ser novidade, ressurgiu como

alternativa para a execução de elementos estruturais [3]. A substituição dos agregados usualmente empregados por materiais leves pode proporcionar alguns benefícios notáveis, como isolamento térmico melhor que do concreto convencional, leveza dos agregados, e logo, uma baixa massa específica do concreto [1].

Por apresentar baixos valores quanto à massa específica, o uso do concreto leve reduz significativamente o peso próprio dos elementos cimentícios, influenciando diretamente em economia na estrutura de fundação, o que, conforme citado anteriormente, é um dos problemas que se observa com o uso do concreto tradicional estrutural [3].

Levando em consideração os requisitos de desempenho da NBR 15575 (2013), intitulada Edificações habitacionais – Desempenho [4], os estudos em relação ao concreto leve têm aumentado consideravelmente nos últimos anos. [5] afirma que o tema é foco de pesquisas devido às vantagens comprovadas com o uso do concreto leve, como: melhoria da relação resistência/peso na construção de edifícios altos, melhoria do isolamento térmico ou acústico de edificações sem aumentar a espessura das camadas de concreto, entre outras, que são critérios abordados pela norma.

Dentre os inúmeros materiais leves existentes e que podem ser inseridos no concreto, tem-se o poliestireno expandido (EPS), que é o foco de pesquisa e análise deste trabalho. Usualmente, este material é inserido na matriz cimentícia para verificação das melhorias em suas propriedades mecânicas. Diante do exposto, o presente artigo apresenta uma análise da resistência à compressão e do peso específico do concreto quando se realiza uma determinada substituição do agregado graúdo, convencionalmente utilizado, pelo EPS. A análise foi realizada para as idades de 7 e 28 dias dos corpos de prova com a substituição parcial mencionada, comparando os resultados obtidos com os do concreto convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, implementou-se um programa experimental com a

fabricação de corpos de provas cilíndricos de concreto com e sem a adição do agregado leve. Isso foi realizado objetivando que os resultados pudessem fornecer informações, acerca da resistência à compressão axial e do peso específico do compósito cimentício, para serem comparadas com as do concreto convencional.

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, ensaios de caracterização do concreto nos estados fresco e endurecido.

Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram: Poliestireno expandido – EPS, em pérolas; Cimento Portland Composto - CP II Z32, areia natural (média fina) como agregado miúdo, brita 0 como agregado graúdo, aditivo plastificante e água, proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Anápolis-GO.

O poliestireno expandido foi utilizado em pérolas, conforme se pode observar na Figura 1. O material foi cedido pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. As pérolas de EPS utilizadas possuíam diâmetro variando de 1,2 a 4,8 mm.



Figura 1 – EPS em pérolas

Para a produção do concreto, com e sem adições, foi utilizado o Cimento Portland Composto - CP II Z32,

que apresenta grande versatilidade e tem diversas possibilidades de aplicações, oferecendo maiores resistências em todas as idades. Ele atende aos pré-requisitos da NBR 16697 (ABNT, 2018) [6]. A Tabela 1 apresenta as propriedades desse cimento, referentes aos ensaios físicos, de acordo com [7]. São apresentados os valores de resistência que os concretos fabricados com esse cimento podem apresentar para cada uma das idades apresentadas. Há a indicação ainda do tempo de início e fim da pega.

Em relação aos agregados, o agregado miúdo, areia natural (média fina), utilizado nesse trabalho possui as propriedades apresentadas na Tabela 2. Por sua vez, o agregado graúdo, que é de origem basáltica e denominado brita 0, possui as propriedades apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2 – Propriedades do agregado miúdo

Massa específica	2472 Kg/m ³
Massa unitária	1655 Kg/m ³
Módulo de finura	2,89 Kg/m ³

Tabela 3 – Propriedades do agregado graúdo

Massa específica	2663 Kg/m ³
Massa unitária	1560 Kg/m ³
Massa de cimento	12,5 Kg/m ³
Módulo de finura	6,11 Kg/m ³

Traço das Amostras

O traço adotado foi definido usando o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Buscou-se, através das características dos agregados, uma resistência média de 25 MPa. O traço unitário do concreto foi de 1:1, 58:1, 98:0, 49 (cimento: areia: brita: água).

Buscando três relações no concreto, foi utilizada no trabalho a substituição da brita por EPS, na quantidade de 5, 10 e 15% em relação ao seu volume total, além da amostra normal de concreto sem adição de EPS. Tratado como referência, conforme apresenta a Tabela 4.

Os moldes foram todos confeccionados com a mesma relação água cimento, alterando somente a quantidade de brita devido a substituição pelo EPS. Pelo fato de o EPS não absorver água, segundo [8], utilizou-se na pesquisa aditivo plastificante para agregar o cimento ao EPS, na proporção de 0,3% de aditivo sobre o peso total de cimento utilizado na confecção do traço.

Produção do concreto e ensaios no estado fresco

Os corpos de prova utilizados para a produção do concreto foram aqueles com diâmetro de 10 cm e 20 cm de altura. Com todos os materiais necessários separados e os moldes preparados com desmoldante vegetal, iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira com capacidade para 250 Litros. Os materiais foram adicionados, com a betoneira em movimento, na seguinte ordem para todas as misturas: Brita; Metade da água; Cimento; Areia; Restante da água + aditivo; EPS (quando houve adição). A betoneira realizou a mistura durante cinco minutos. Na Figura 2 pode-se observar o concreto com EPS já pronto.

Após o concreto pronto, realizou-se o *Slump Test*, conforme [9] com título: Determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco do cone. O ensaio foi realizado para a avaliação da trabalhabilidade do concreto (Figura 3).

Tabela 1 – Propriedades do Cimento Portland CP II Z 32

Resistência 1 dia	Resistência 3 dias	Resistência 7 dias	Resistência 28 dias	Início de pega	Fim de pega
25,0 MPa	33,0 MPa	40,0 MPa	45,0 MPa	145 min	215 min

Tabela 4 - Relação dos agregados a substituir

TRAÇO		MATERIAIS (Kg/dm³)				MATERIAIS (g)	
		Cimento	Areia	Brita	Água	EPS	Aditivo
1	Referência	10,5	16,6	20,8	5,15	0	12
2	5% de EPS	10,5	16,6	19,76	5,15	66,6	12
3	10% de EPS	10,5	16,6	18,7	5,15	133,2	12
4	15% de EPS	10,5	16,6	16,65	5,15	266,66	12



Figura 2 – Mistura do concreto com EPS em pérolas



Figura 3 – Slump Test (Ensaio de Abatimento)

Posteriormente a realização do *slump test*, os corpos de prova foram moldados (Figura 4. a) através de um processo com adensamento manual. Após 24 horas, eles foram desmoldados e levados para a câmara úmida (Figura 4. b), onde permaneceram até a data do rompimento. O processo foi repetido para todas as adições propostas neste trabalho.

Foram confeccionados corpos de prova a serem submetidos aos testes de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura. O número de unidades confeccionadas para

cada traço fabricado, com as substituições indicadas e o de referência, foi igual a 6, totalizando 24 corpos de prova ensaiados aos 7 dias e 24 ensaiados aos 28, conforme pode-se observar na Tabela 5.



Figura 4 – (a) Moldagem dos corpos de prova; (b) Corpos de prova em câmara úmida.

Ensaio de resistência à compressão do concreto.

Para o ensaio de compressão axial, utilizou-se como base em [10], que estabelece diretrizes para o corpo de prova, referentes à manutenção da cura úmida satisfatória para a hidratação, e critérios para a realização dos ensaios, como a preparação das bases para o rompimento em prensa hidráulica. Os rompimentos dos corpos de prova fabricados neste trabalho foram realizados pela prensa hidráulica apresentada na Figura 5.



Figura 5 – Corpo de prova na prensa

Tabela 5 - Quantidade de corpos de prova por traço

Idade	Referência	5% de EPS	10% de EPS	15% de EPS
7 dias	6	6	6	6
28 dias	6	6	6	6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados é uma condição indispensável à compreensão da influência das variáveis investigadas no comportamento à compressão do concreto que possui adições, e neste programa experimental em específico, a adição utilizada foi de Poliestireno Expandido (EPS) para substituição do agregado graúdo em determinadas porcentagens.

Ensaio de abatimento do tronco do cone (*slump test*)

O ensaio foi realizado após cada dosagem de concreto para todas as substituições propostas neste trabalho e ainda para o concreto de referência, que está sendo utilizado como parâmetro básico de comparação. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Ensaio de abatimento do tronco-cone

Teor de substituição (%)	Abatimento do cone (mm)
0	40
5	25
10	5
15	0

Conforme é possível observar na Tabela 6, o resultado obtido para o concreto sem adição foi de 4 cm. Comparando os demais resultados a esse, nota-se que os traços de 10% e 15% obtiveram menores valores de abatimento, o que foi influenciado pelas substituições em diferentes proporções do agregado leve de pérolas de EPS.

A Tabela 7 mostra os valores de abatimento recomendados pelo ACI (American Concret Institute), para vários tipos de elementos estruturais.

Observando os valores de abatimento recomendados para peças estruturais, na Tabela 7, pode-se afirmar que mesmo que nenhum traço tenha atingido o abatimento do concreto tomado como referência, o abatimento obtido pelo concreto com teor de 5% de EPS está dentro das recomendações do ACI.

Ensaio de resistência à compressão

Para as idades de 7 e 28 dias do concreto foram realizados os testes para análise da resistência à compressão dos corpos de prova. Com os ensaios realizados, foram obtidos diferentes valores de tensões, que estão apresentados nas Tabelas 8, 9, 10 e 11. Cada uma das tabelas apresenta os valores obtidos nas duas idades ensaiadas para cada uma das substituições: 0%, 5%, 10% e 15%, respectivamente. Para cada grupo de corpos de prova é apresentado a média aritmética.

Pode se notar que o acréscimo do EPS contribui de maneira negativa para a resistência à compressão do concreto, não atingindo a resistência de 20 MPa, mínima estabelecida em [11] para fins estruturais. No entanto, de acordo com a NBR 15270 (ABNT, 2005), estes podem ser usados em blocos cerâmicos de vedação, cuja resistência mínima é de 1,5 MPa

Segundo [12] que avaliou a viabilidade da substituição de 50% do agregado graúdo por EPS em seu trabalho, a diminuição na resistência à compressão se deve à má distribuição granulométrica dos agregados utilizados (miúdo e graúdo), que reduz o fator de empacotamento dos agregados, aumentando a porosidade

Tabela 7 – Valores de abatimento recomendados pelo ACI

Tipos de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundação armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimento e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

Tabela 8 – Resistência à compressão do concreto com 0% de pérolas de EPS

CP	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
CP1	15,8	24,5
CP2	12,4	17,9
CP3	16,2	23,4
CP4	20,1	21,1
CP5	13,0	24,4
CP6	16,2	25,2
Média	15,62	22,75

Tabela 9 – Resistência à compressão do concreto com 5% de pérolas de EPS

CP	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
CP1	8,7	8,7
CP2	8,6	11,1
CP3	8,9	11,5
CP4	9,2	10,8
CP5	8,6	10,4
CP6	8,6	10,4
Média	8,77	10,48

Tabela 10 – Resistência à compressão do concreto com 10% de pérolas de EPS

CP	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
CP1	3,4	4,9
CP2	3,2	4,9
CP3	3,5	4,6
CP4	4,5	5,1
CP5	3,7	4,5
CP6	4,4	4,3
Média	3,78	4,72

Tabela 11 – Resistência à compressão do concreto com 15% de pérolas de EPS

CP	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
CP1	2,2	2,6
CP2	1,0	2,3
CP3	2,1	2,0
CP4	1,0	2,1
CP5	1,1	2,5
CP6	1,4	2,1
Média	1,47	2,27

Tabela 12 – Massa específica por traço

Traço	Média da massa (g)	Volume do CP (cm ³)	Média da massa específica (Kg/m ³)	Redução da massa específica em relação ao traço Referência (%)
Referência	3675,0	1570,8	2339,6	
5% DE EPS	3133,7	1570,8	1994,9	14,73
10% DE EPS	2372,7	1570,8	1510,2	35,45
15% DE EPS	1922,8	1570,8	1224,1	47,68

do concreto e, conseqüentemente, ocasionando a redução de sua resistência à compressão.

[13] afirmam que os concretos leves são classificados de acordo com suas propriedades, podendo ser estrutural (com resistência à compressão maior que 15 MPa), estrutural/isolamento (com resistência à compressão maior que 3,5 MPa) e isolamento (com resistência à compressão maior que 0,5 MPa). Nesse sentido, pode-se inferir que nesse trabalho os traços com as substituições de 5 e 10% se classificam como estrutural/isolamento, e o de substituição de 15% como isolamento.

Análise das massas específicas

Para as amostras ensaiadas à compressão nesse trabalho, foram calculadas as médias das massas específicas e determinado qual a sua redução em relação ao concreto de referência. Esses dados são apresentados na Tabela 12. Analisando a Tabela 12, é possível observar uma redução considerável da massa específica do concreto com o aumento do teor de substituição da brita pelo EPS. Isso acontece devido à grande diferença entre a massa específica da brita e do poliestireno expandido utilizado como agregado de substituição. O peso de uma estrutura com a utilização desse tipo de material diminui significativamente, reduzindo também as dimensões dos seus elementos estruturais, gerando uma economia considerável ao final da obra.

Quando o teor de EPS na dosagem de concreto leve é aumentado, sua massa específica e sua resistência à compressão são reduzidas [14] e a absorção é aumentada [15], porque a proporção de matriz cimentícia aumenta e é a responsável pela absorção de água.

Quanto à possibilidade de este concreto ser considerado leve, ele tem que apresentar massa específica compreendida entre 1200 e 2000 kg/m³. Têm-se como resposta positiva todos os concretos com substituição de brita por EPS ensaiados neste trabalho [16].

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, a partir dos ensaios realizados para as diferentes misturas envolvendo concreto leve com EPS, foi possível concluir que a resistência à compressão sofreu uma queda à medida que se elevou a quantidade de substituição de agregado graúdo por EPS na mistura. O melhor desempenho obtido foi para a substituição de 5%, que foi a menor porcentagem utilizada, aos 28 dias de idade do concreto, onde se obteve uma resistência média de 10,48 MPa. No entanto, a resistência média obtida para o concreto de referência foi de 22,75 MPa, que corresponde a mais de duas vezes o valor da resistência mencionada anteriormente.

De acordo com [11], para que o concreto seja considerado estrutural o mesmo deve atingir uma resistência mínima de 20 MPa. Neste trabalho, somente o traço de referência atingiu esse valor, de modo que o concreto leve produzido não se encaixou nessa categoria. No entanto, o mesmo pode ser utilizado para outras finalidades da construção civil, que não a estrutural, como por exemplo: peças pré-fabricadas, blocos cerâmicos de vedação, regularização de lajes, calçadas, painéis e fachadas.

Além dos benefícios ambientais de sustentabilidade e destinação do EPS, o estudo do material evidencia seu elevado potencial de aplicação no concreto, uma vez que pesquisas indicam que existe a possibilidade de redução da sua massa específica em até 50%. Essa característica nomeia o material como concreto leve, e essa substituição do agregado graúdo pelo EPS acarreta uma redução do peso próprio das estruturas. Neste trabalho, de acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que essa redução foi obtida em todos os traços com substituição de agregado graúdo por EPS, tendo como destaque o com

porcentagem de 15% que teve sua massa específica reduzida quase pela metade.

Para viabilizar a utilização de teores maiores do EPS no concreto, indicam-se novas pesquisas que considerem a utilização de aditivos que proporcionem melhores resultados de abatimento nesse material. Uma vez que o estudo do concreto já apresenta complexidades devido à variabilidade em suas propriedades de acordo com a forma de mistura, materiais utilizados, moldagem dos corpos de prova, entre outros, recomenda-se ainda um estudo mais detalhado sobre a correta forma de inserção do agregado leve na mistura, para garantir melhores resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo, PINI, 2009.
- 2 ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto Estrutural Leve**. In: ISAIA, G. C. *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: Ibracon, 2005.
- 3 SANT'HELENA, M. **Estudo para aplicação de poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2009.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- 5 RODRIGUES, Hayala Karoline Santos; OLIVEIRA, Herbet Alves de; MELO, Fernanda Martins Cavalcante de; ALMEIDA, Vanessa Gentil de Oliveira. **Propriedades de um concreto leve estrutural com incorporação de argila expandida e resíduo de granito. Matéria (Rio de Janeiro)**, Sergipe, v. 27, n. 1, 12 p. 2022.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

- 7 **CIMENTO.ORG.** 2010. Disponível em: <https://cimento.org/cp-ii-z-32-cimento-portland-composto-com-pozolana/>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO – **ABRAPEX.** Manual de utilização do EPS na construção civil. Editora Pini. São Paulo, 2006.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone. Rio de Janeiro, 1998.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 09 p.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- 12 GUERRA, J. L. **Estudo da Influência de Flocos de Poliestireno Expandido como Agregado no Concreto seco.** Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil na Universidade Tecnológica do Paraná, Campus Pato Branco, 2015.
- 13 NEWMAN, John; CHOO, Ban Seng. **Advanced Concrete Technology: Processes.** Elsevier, 2003.
- 14 MADANDOUST, R.; RANJBAR, M. M.; MOUSAVI, S. Y. **An investigation on the properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene.** Cement & concrete composites, 2011.
- 15 BABU, D. S.; BABU, K. G.; WEE, T. H. Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. **Cement and concrete research**, 2004.
- 16 ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2014.