

EFEITO DAS ALTAS TEMPERATURAS SOBRE O CONCRETO LEVE NÃO ESTRUTURAL COM EPS

Mariana Melo Meneses Carvalho (IFPI) E-mail: marianameneses13@hotmail.com
Hudson Chagas Dos Santos (IFPI) E-mail: HUDSON@IFPI.EDU.BR

Resumo: A concepção de concreto leve com poliestireno expandido (EPS) surgiu com o desenvolvimento da tecnologia do concreto e a constante preocupação com a questão da sustentabilidade. No entanto, para que a vantagens do concreto leve sejam exploradas, faz-se necessário, por questão de segurança, que seja estudado o seu desempenho nas mais variadas situações em que ele possa ser submetido. O conhecimento do comportamento residual do concreto leve não estrutural com pérolas de poliestireno expandido (EPS) após situação de incêndio e resfriamento rápido é de fundamental importância, para que se possam reduzir os efeitos nocivos causados por incêndios, uma vez que estruturas de concreto eventualmente são expostas a situações de incêndio controladas por meio de resfriamento rápido com água. Portanto, esse trabalho objetiva-se analisar o comportamento residual do concreto leve com pérolas de EPS após ser submetido a altas temperaturas e resfriamento rápido. Para isto, os corpos de provas foram submetidos a um aquecimento via forno e gasolina que obedece a curva do incêndio padrão até determinados patamares predefinidos, e então foram submetidos a resfriamento rápido. A determinação das propriedades mecânicas ocorreu através dos ensaios de Compressão Normal e tração por Compressão Diametral. Os resultados obtidos evidenciam perdas da resistência à compressão e à tração por compressão diametral após aquecidas as amostras no forno e gasolina. Os resultados deste trabalho reforçam a importância em se estudar o comportamento do concreto perante as elevadas temperaturas provenientes de um incêndio.

Palavras-chave: Concreto, Poliestireno Expandido, Incêndio, Propriedades Mecânicas.

EFFECT OF HIGH TEMPERATURES ON NON-STRUCTURAL LIGHT CONCRETE WITH EPS

Abstract: The concept of lightweight concrete with expanded polystyrene (EPS) came about with the development of concrete technology and the constant concern with the issue of sustainability. However, for the advantages of lightweight concrete to be exploited, it is necessary, for reasons of safety, to study its performance in the most varied situations in which it may be submitted. The knowledge of the residual behavior of non-structural lightweight concrete with expanded polystyrene (EPS) beads after a fire situation and rapid cooling is of fundamental importance, so that the harmful effects caused by fires can be reduced, since concrete structures eventually are exposed to fire situations controlled by rapid water cooling. Therefore, this work aims to analyze the residual behavior of lightweight concrete with EPS beads after being subjected to high temperatures and rapid cooling. For this, the specimens were subjected to heating via an oven and gasoline that follows the standard fire curve up to certain predefined levels, and then they were subjected to rapid cooling. The determination of the mechanical properties occurred through the Normal Compression and Traction by Diametral Compression tests. The results obtained evidence loss of compressive strength and tensile strength due to diametrical compression after heating the samples in the oven and gasoline. The results of this work reinforce the importance of studying the behavior of concrete under high temperatures from a fire.

Keywords: Concrete, Expanded Polystyrene, Fire, Mechanical Properties.

1. Introdução

O mercado da construção civil reflete a economia do país e em tempos de crise, principalmente, tende-se reduzir investimentos e otimiza-los. Assim, soluções que promovam o aumento da produtividade e a redução de custos e de tempo de execução ganham espaço na construção civil em detrimento dos sistemas convencionais, em que se verifica alto desperdício de materiais, retrabalho e baixa produtividade e qualidade. Nesse contexto, o sistema de pré-moldados ganha espaço por apresentar características

exigidas pelo mercado. Porém, uma das desvantagens desse tipo de sistema é o peso das estruturas, que acaba encarecendo o transporte, e o manuseio sendo, assim, um inconveniente ao avanço desse modelo construtivo.

O concreto leve, por sua vez, possibilita a redução da massa específica, a diminuição dos esforços internos das estruturas e por consequência a diminuição do volume de concreto e das armaduras, além disso, também diminui a energia requerida no transporte e no processo construtivo, tornando o sistema de pré-moldados ainda mais barato (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005). O concreto leve pode ser definido como um material caracterizado pela baixa massa específica, em relação aos concretos comuns.

De acordo com o ACI 213R-87 (1999), esse tipo de concreto deve apresentar, aos 28 dias, resistência à compressão superior a 17 MPa e massa específica menor ou igual a 1850 kg/m³. Já para a ASTM C330, a resistência mínima à compressão e a massa específica máxima devem ser de 28 MPa e 1760 kg/m³, respectivamente. Caso o concreto leve não atinja as resistências apresentadas o seu uso será direcionado para fins não estruturais. Além disso, a ASTM C330 especifica a necessidade de que os agregados leves miúdos e graúdos não excedam, na devida ordem, 1120 kg/m³ e 880 kg/m³.

Segundo Zumaeta Moncayo (2017), os concretos leves vêm sendo divididos em concretos com agregados leves, concretos celulares e concreto sem finos. O autor (2017) afirma ainda que o concreto leve com EPS apresenta-se como uma inovação, principalmente para aplicações estruturais, como em lajes e painéis pré-moldados.

O concreto leve feito com poliestireno expandido pode ter como constituintes os mesmos materiais que os demais concretos leves, com exceção do EPS, que, geralmente, substitui o agregado graúdo e parte do miúdo. De modo geral, as pérolas de EPS funcionam como enchimento, não atuando como material resistente e sendo incorporadas a elementos de maior peso para que promovam um concreto com resistência adequada (ZUMAETA MONCAYO, 2017).

1.1. Efeito das altas temperaturas sobre o concreto

A norma brasileira para projetos de concreto em situação de incêndio ABNT NBR 15200 (2012), fornece valores que permitem estimar a redução da resistência a compressão e o módulo de elasticidade do concreto com o aumento da temperatura para concretos de massa específica normal (2000 kg/m³ a 2800 kg/m³) preparados com agregados predominantemente silicosos ou calcáreos como mostram as Figuras 1 e 2.



Figura 1 – Fator de redução da resistência do concreto em função da temperatura.

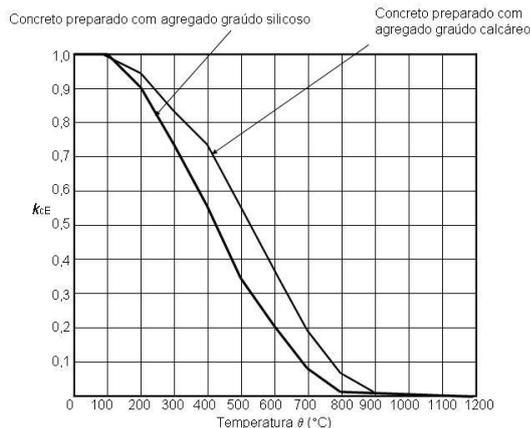


Figura 2 – Fator de redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura.

Zumaeta Moncayo (2017) observou que o concreto leve com EPS submetido a temperatura de 200, 400 e 600°C e resfriamento lento tem uma diminuição de 15, 63 e 77%, respectivamente, da resistência à compressão em comparação ao concreto em temperatura ambiente. Foi observado também que o concreto com EPS submetido a elevadas temperaturas apresenta-se menos resistente e mais deformável, e que o concreto com EPS quando submetido a altas temperaturas apresenta um comportamento pior do que o preconizado pela NBR 15200 para concretos convencionais.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa visa avaliar o comportamento mecânico através da análise da resistência à compressão normal e à tração por compressão diametral do concreto leve não estrutural após submetido a altas temperaturas, equiparando-se a um incêndio.

2. Metodologia

Foi desenvolvido o traço para o concreto a ser empregado na pesquisa, tomando por base o traço em massa obtido por Ozório (2016), com a parcela de EPS inserida em porcentagem de massa do cimento de 1:1:0,5:0,28 (cimento CP II Z 32: areia média: EPS: água), com adição de 1% de plastificante. O cimento utilizado foi o Portland Todas as Obras CP II Z 32 (Figura 29), especificado pela ABNT NBR 14725:2012, marca POTY, por possuir secagem rápida e alta resistência, agilizando a execução dos ensaios em laboratório.

Os corpos-de-prova foram moldados seguindo as recomendações normativas da ABNT NBR 5738. Ao todo foram 18 corpos de prova de diâmetro de 10cm e altura de 20cm, que passaram por um processo de cura úmida por 28 dias e serão pesados ao final da cura. Um grupo de 6 corpos de prova não serão expostos a elevadas temperaturas e constituirão o grupo de controle. Para cada tipo de queima utilizada (forno e gasolina) serão analisados 6 corpos de prova, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova

	Controle	Forno	Gasolina
fc	3	3	3
Fct, sp	3	3	3
Subtotal	6	6	6

Total	18
--------------	----

Fonte: Própria Autora (2021)

Nos dias seguintes à moldagem dos corpos de prova, após aproximadamente 24 horas, dar-se-á as etapas de desmoldagem e identificação do material. Em seguida todos os corpos de prova foram acondicionados em tanques com água potável para cura de 28 dias até as datas de ensaio, de acordo com Figura 3.



Figura 3 – Corpos de prova acondicionados em tanques de água potável para cura

Na primeira simulação de incêndio (elevadas temperaturas), foi utilizado o forno cerâmico caseiro, mostrado na Figura 4, com parede circular que proporciona aberturas, de tal maneira que o fogo possa ser alimentado por baixo das peças e o calor sobe através da carga. Assim se introduz a ideia de circulação do calor; ao invés de se basear na transmissão do calor pela radiação das brasas ardentes para a cerâmica, os corpos de prova aquecem pelo fluxo de gases quentes ao seu redor.



Figura 4 – Forno Cerâmico Caseiro.

O aquecimento ocorreu de maneira gradativa e controlada com combustível de queima, além de ser verificado através de termômetro digital de longo alcance. Desse modo iniciou-se com a temperatura ambiente e foi proporcionado um aquecimento até cerca de 420 °C. Os corpos-de-prova foram mantidos em temperatura elevada durante 7h, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5 – Etapas da simulação de incêndio no forno cerâmico caseiro.

Após a etapa de simulação de incêndio no forno cerâmico caseiro, ocorreu o resfriamento interno do material dentro do forno de maneira gradativa. Em aproximadamente 322 °C iniciou-se a retirada dos corpos de prova do forno com um auxílio de bastões. De maneira natural os corpos de prova foram perdendo calor para o meio, em aproximadamente 213 °C foi realizado o resfriamento rápido com água, simulando a ação dos órgãos competentes habilitados para fazer o resfriamento do local onde existe um incêndio.

Para segunda simulação de incêndio foram aquecidos os corpos de prova ao ar livre através da queima da gasolina, inicialmente houve um agrupamento dos corpos de prova, em seguida inseriu-se gasolina em contato com os materiais e proporcionou aquecimento para esse ambiente, a temperatura foi averiguada de maneira gradativa através de termômetro digital até atingir temperatura final de aproximadamente 315 °C, após essa temperatura não se inseriu mais combustível e os materiais foram perdendo calor para o meio até a chama se apagar totalmente e iniciar o processo de resfriamento de maneira natural. Os corpos-de-prova foram mantidos em temperatura elevada durante 3h, conforme a Figura 6.



Figura 6 – Etapas da simulação de incêndio através da utilização de gasolina.

Os corpos de prova, após serem expostos a elevada temperatura e resfriamento rápido em água, foram pesados e serão ensaiados para avaliar os efeitos do tipo de queima sobre a resistência a compressão axial (f_c) e Resistência a Tração por compressão diametral (f_{ct} , sp).

Os ensaios para a determinação da resistência a compressão axial e resistência a tração por compressão diametral foram realizados em uma Prensa Manual para Ensaio de Concreto - Contenco, modelo I-3001-C com capacidade de 100 Toneladas, leitura digital e resolução de 10 Kgf, conforme mostrado na Figura 7.



Figura 7 – Prensa Manual para Ensaio de Concreto - Contenco.

As massas específicas foram determinadas de acordo com a NBR 9833 (2008). Onde, a determinação ocorre pela relação entre a massa de material e o seu volume após adensamento, incluindo neste volume o ar eventualmente retido ou propositalmente incorporado ao material.

3. Resultados

3.1. Resistência à Compressão Normal

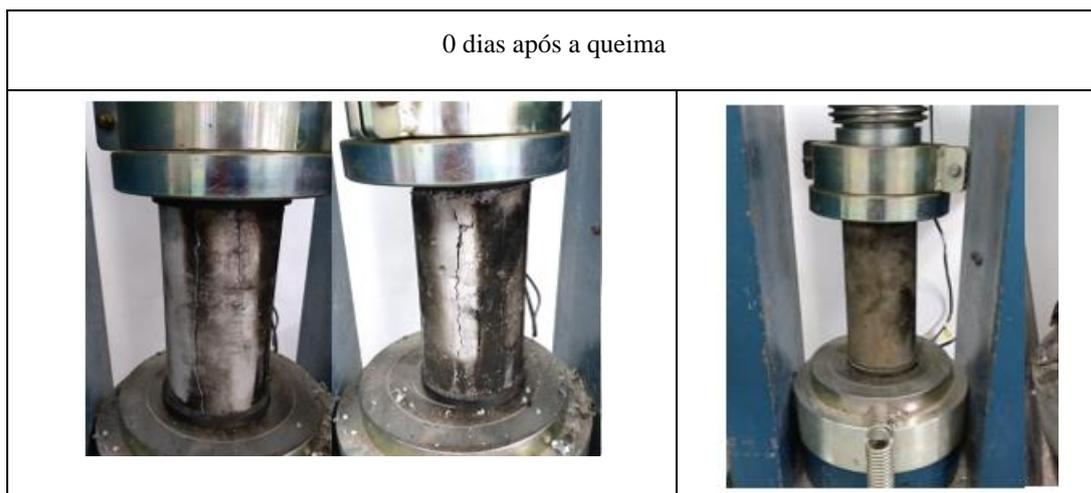
O comportamento resistente à compressão com EPS é diferente do relativo aos concretos comuns, que via de regra apresentam união de microfissuras, primariamente originárias na zona de transição entre o agregado e a matriz do concreto. Assim sendo, os concretos comuns tendem a ter a linha de ruptura contornando os agregados (HANAI, 2005). As Tabelas 2 e 3 demonstram os corpos de prova submetidos a alta temperatura por meio de forno e gasolina sendo ensaiados por Compressão Normal.

Tabela 2 – Ensaio de compressão normal para corpos de prova submetidos a alta temperatura por meio de forno.



Fonte: Própria Autora (2021)

Tabela 3 – Ensaio de compressão normal para corpos de prova submetidos a alta temperatura por meio de gasolina.



Fonte: Própria Autora (2021)

Nas Tabelas 2 e 3 é possível perceber uma homogeneidade no tipo de fratura formada nos corpos de prova submetidos a alta temperatura por meio do forno e gasolina, vez que ocorre a formação inicialmente da trinca quando as tensões de compressão no concreto atingem o valor da resistência à compressão deste, ocorre a fissura em direção perpendicular a da força aplicada dando origem à fissura primária.

Ao longo do processo, com o aumento da força aplicada, a formação de fissuras primárias é contínua, ou seja, nos diversos pontos onde a tensão de compressão do concreto superar a sua resistência à compressão de maneira análoga à descrita, surgirão fissuras primárias. Para o caso citado, a partir da fissuração primária central, pode-se analisar a peça rompida como dois novos elementos, e, portanto, novas fissuras surgirão no meio do comprimento destas novas peças, como mostra as Tabelas 2 e 3, desde que o comprimento entre fissuras seja maior que o comprimento de ancoragem. No caso de peças maiores, pode-se ter múltiplas fissuras na primeira geração de fissuração.

Nas proximidades das fissuras primárias, é comum o surgimento de fissuras secundárias (Tabelas 2 e 3). Estas fissuras, em geral, são radiais, possuem abertura, bem como comprimento, inferior em relação as fissuras primárias e podem surgir devido a efeitos como concentração de tensões.

Os resultados do ensaio de compressão normal dos corpos de prova submetidos a alta temperatura através do forno e gasolina estão ilustrados na Figura 8 com a Tabela 4.

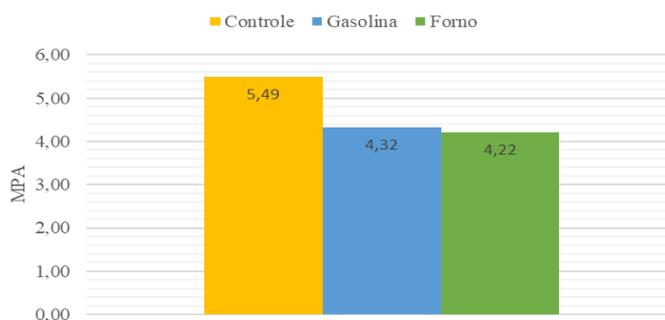


Figura 8 – Resistência à compressão normal em corpos de prova.

Tabela 4 – Comparação da resistência à compressão normal dos corpos de prova aquecidos no forno e gasolina.

Resistência à compressão normal (Mpa)		
	Resistências	Média
Controle	7,4	5,49
	5,4	
	3,6	
Gasolina	5,1	4,32
	3,7	
	4,1	
Forno	3,8	4,22
	3,1	
	5,8	

Fonte: Própria Autora (2021)

Inicialmente os corpos de prova tiveram uma média de resistência a compressão cerca de 5,49 MPa, sendo importante mensurar que após o processo de queima ocorre uma queda no valor médio para cerca de 4,27 MPa, identificando que o processo de simulação de incêndio causa perda na resistência a compressão do material, podendo interferir na estruturação da construção no qual tem a aplicação deste material.

3.2. Resistência à tração por compressão diametral

As Tabelas 5 e 6 demonstram os corpos de prova submetidos a alta temperatura através do forno e gasolina sendo ensaiados por Compressão Diametral.

O ensaio de compressão diametral (Brazilian Test) consistiu na aplicação de uma carga na direção vertical sobre o corpo de prova entre duas placas (Tabela 5 e 6) a fim de se obter a resistência à tração por meio de uma compressão no plano diametral, ou seja, o plano de ruptura vertical de simetria da peça cilíndrica (CLAESSON & BOHLOLI, 2002).

A tensão de compressão máxima ocorre na superfície da amostra, imediatamente abaixo da aplicação das cargas. A distribuição de carga aplicada é um fator muito importante para o sucesso do ensaio. A carga deve ser igualmente distribuída ao longo de todo o comprimento do corpo de prova. Se a área de contato entre os pratos da máquina de ensaio e a superfície do corpo de prova for muito pequena – geralmente causada por irregularidades na superfície do corpo de prova – a carga aplicada será muito concentrada, levando a uma compressão máxima localizada, podendo ocorrer uma falha causada por tensões de cisalhamento.

Quando a carga é aplicada, a falha inicia-se no centro da peça, conforme demonstrado na Tabela 5 e 6. Neste local, a proporção entre tensão de compressão e tensão de tração é de aproximadamente igual a três ($\sigma_y = 3\sigma_x$) e se propaga para fora, ao longo da direção de aplicação da carga (WALSRI & FUENKAJORN, 2011).

Embora a tensão de compressão seja três vezes maior do que a de tração, a cerâmica tende a fraturar por tração, pois resiste bem a tensões de compressão.

Tabela 5 – Ensaio de tração por compressão diametral para corpos de prova submetidos a alta temperatura por meio do forno.



Fonte: Própria Autora (2021)

Tabela 6 – Ensaio de tração por compressão diametral para corpos de prova submetidos a alta temperatura por meio de gasolina.



Fonte: Própria Autora (2021)

Os resultados do ensaio de tração por compressão diametral dos corpos de prova submetidos a alta temperatura através do forno e gasolina estão ilustrados na Figura 9 com a Tabela 7.

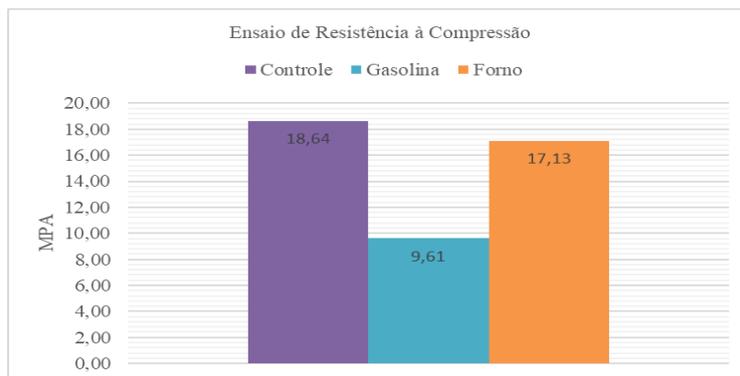


Figura 9 – Resistência à tração por compressão diametral em corpos de prova.

Tabela 7 – Comparação da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova aquecidos no forno e gasolina.

Resistência à compressão normal (Mpa)		
	Resistências	Média
Controle	19,1	18,64
	19,3	
	17,5	
Gasolina	8,7	9,61
	9,9	
	10,2	
Forno	15,9	17,13
	24,5	
	10,9	

Fonte: Própria Autora (2021)

Os corpos de prova após etapa de cura durante 28 dias e 0 dias de queima tiveram uma média de resistência a compressão diametral cerca de 18,64 MPa, sendo importante mensurar que após o processo de queima ocorre uma queda no valor médio para cerca de 9,61 MPa para corpos de prova queimados a gasolina e 17,13 com queima no forno, identificando que o processo de simulação de incêndio causa perda na resistência a compressão diametral do material, podendo interferir na estruturação da construção no qual tem a aplicação deste material.

3.3. Massa específica

Os resultados mostraram que a massa específica dos materiais queimados a gasolina e forno foram menores em relação ao material não queimado, conforme indicado na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da determinação da massa específica dos materiais.

Material	Massa Específica (g/cm ³)
Controle	1,65
Gasolina	1,47
Forno	1,51

Fonte: Própria Autora (2021)

No Brasil, de acordo com a ABNT, a definição e determinação normativa oficial do concreto leve pode ser caracterizada em teste quando endurecido e seco em estufa, apresente massa específica entre 0,8 e 2,0 g/cm³ (NBR 12655) (ABNT, 2015). Neste sentido, os materiais podem ser utilizados em aplicações não estrutural, além da identificação da diminuição de massa ocasionada no processo de aquecimento.

3. Conclusão

Por meio dos resultados encontrados, pode-se concluir que os resultados obtidos evidenciam perdas da resistência à compressão e à tração após períodos de queima das amostras tanto em forno como por meio de gasolina. Durante o aquecimento não foi verificado em nenhum dos corpos de provas algum tipo de deslocamento explosivo.

Acredita-se que a quantidade de poros existentes na matriz permitiu a migração do vapor para a superfície com relativa facilidade, e que o fato das amostras apresentarem baixa umidade em função do tempo de cura ao ar livre reduziu a possibilidade do spalling.

Os concretos com EPS leves estão dentro do preconizado pela legislação - NM 35 (ABNT, 1995) - e podem ser utilizados em aplicações não estruturais, com valores médios de resistência à compressão de 7 MPa após queima no forno e gasolina juntamente com reidratação.

Os resultados deste trabalho reforçam a importância em se estudar o comportamento do concreto perante as elevadas temperaturas provenientes de um incêndio e contribuem para esta área de pesquisa, visto que muitas respostas ainda carecem ser descobertas e que se deve procurar padronizar os ensaios experimentais de modo que se obtenham parâmetros que possam ser comparados.

Os resultados mostraram que a massa específica dos materiais queimados a gasolina e forno foram menores em relação ao material não queimado.

Referências

ABNT NBR 5738: *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro. 2015.

ABNT NBR 9833: *Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico*. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT NBR 9833: *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro. 2015.

ABNT NBR 14725: *Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente*. Rio de Janeiro. 2012.

ABNT NBR 15200: *Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio*. Rio de Janeiro. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM C330: *Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete*. Philadelphia, 1989.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI, COMMITTEE 213 (1999), *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*. ACI 213R-87 (reapproved 1999), Farmington Hills, EUA, 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 35: *Agregados leves para concreto estrutural – Especificações*. Rio de Janeiro, 1995.

CLAESSON & BOHLOLI, J. CLAESSON, B. BOHLOLI – *Brazilian test: stress field and tensile strength of anisotropic rocks using an analytical solution*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2002.

HANAI, João Bento de. *Fundamentos do concreto protendido*. [S. l.: s. n.], 2005.

OZÓRIO, B. P. M. *Concreto Leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas*. 2016. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. *Concreto leve estrutural*. In: *ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia*. v.2. 1.ed. São Paulo: Ibracon. Cap.42, p.1531-1568, 2011.

WALSRI & FUENKAJORN, C. WALSRI, K.FUENKAJORN – *Transition from compressive to tensile strengths of intact rocks*. University of Technology, Thailand. 2011.

ZUMAETA MONCAYO, W. J. *Comportamento residual do concreto leve com pérolas de EPS após situação de incêndio*. 2016. 202 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.