

## Concreto com adição de pérolas de poliestireno expandido

Jaryd Matias Cardoso<sup>(1)</sup>,  
Nicole Giovana Menezes Rocha<sup>(2)</sup>,  
Flávio Roldão de Carvalho Lellis<sup>(3)</sup>,  
Antonio Rafael de Souza Alves Bosso<sup>(4)</sup>,  
Adriano dos Guimarães de Carvalho<sup>(5)</sup> e  
Moacyr Salles Neto<sup>(6)</sup>

Data de submissão: 24/9/2023. Data de aprovação: 11/4/2024.

**Resumo** – A utilização do Concreto Leve pode trazer benefícios tanto técnicos como financeiros em comparação ao concreto tradicional. Nesse sentido, a análise do comportamento mecânico do concreto com adição de pérolas de poliestireno expandido (EPS) realizados nesta pesquisa, visa contribuir no desenvolvimento de concretos com agregados leves. Para tanto, a porcentagem de agregado leve incorporado na matriz cimentícia foi a principal variável avaliada (20 a 50 % em relação ao volume total de material) por meio da determinação da resistência à compressão aos 21 dias de cura, além da massa específica do concreto no estado fresco. Os resultados possibilitaram a fabricação de matrizes cimentícias leves com propriedades de compressão e massa específica bastante interessantes. De maneira geral, observou-se que o acréscimo no teor de EPS proporcionou um impacto significativo na resistência à compressão (redução de 63,9 MPa - T1 para 18,9 MPa - T5). Considerando a faixa de variação de EPS avaliada, os resultados obtidos demonstraram que as diversas misturas cimentícias possuem massa específicas inferiores a de concretos convencionais, mas ainda podem ser utilizadas como concretos estruturais com resistências razoáveis (T2, T3 e T4) ou com baixa resistência (T5). Neste sentido, esta pesquisa demonstra a possibilidade deste material desempenhar um papel importante na propagação do concreto leve com a incorporação de EPS em projetos de construção civil em todo o país.

**Palavras-chave:** Agregado leve. Concreto leve. Pérolas de EPS.

## Concrete with the addition of expanded polystyrene beads

**Abstract** – The use of Lightweight Concrete can bring both technical and financial benefits compared to traditional concrete. In this regard, the analysis of the mechanical behavior of concrete with the addition of expanded polystyrene beads (EPB) carried out in this research aims to contribute to the development of concretes with lightweight aggregates. To this end, the percentage of lightweight aggregate incorporated into the cementitious matrix was the main variable evaluated (20 to 50% in relation to the total volume of material) through the determination of compressive strength at 21 days of curing, in addition to the specific mass of

<sup>1</sup> Engenheiro Civil pelo Instituto Federal do Tocantins *Campus* Palmas - IFTO. \*[jaryd@outlook.com.br](mailto:jaryd@outlook.com.br). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1765-445X>.

<sup>2</sup> Engenheira Civil pelo Instituto Federal do Tocantins *Campus* Palmas - IFTO. \*[nicole-giovana@hotmail.com](mailto:nicole-giovana@hotmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6119-9850>

<sup>3</sup> Professor doutor do Bacharelado em Engenharia Ambiental do *Campus* Goiânia, do Instituto Federal de Goiás - IFG. \*[flavio.roldao@ifg.edu.br](mailto:flavio.roldao@ifg.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5405-0383>.

<sup>4</sup> Professor doutor do Bacharelado em Engenharia Civil do *Campus* Palmas, do Instituto Federal do Tocantins - IFTO. \*[rafaelbosso@ifto.edu.br](mailto:rafaelbosso@ifto.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3113-9246>.

<sup>5</sup> Professor doutor do Bacharelado em Engenharia Civil do *Campus* Palmas, do Instituto Federal do Tocantins - IFTO. \*[agcarvalho@ifto.edu.br](mailto:agcarvalho@ifto.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9130-2877>.

<sup>6</sup> Professor doutor do Bacharelado em Engenharia Civil do *Campus* Palmas, do Instituto Federal do Tocantins - IFTO. \*[moacyr@ifto.edu.br](mailto:moacyr@ifto.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0179-7301>.

the concrete in the fresh state. The results enabled the manufacture of lightweight cementitious matrices with quite interesting compression properties and specific mass. In general, it was observed that the increase in the EPB content had a significant impact on compressive strength (reduction from 63.9 MPa - T1 to 18.9 MPa - T5). Considering the range of EPB variation evaluated, the results obtained demonstrated that the various cementitious mixtures have specific masses lower than those of conventional concretes but can still be used as structural concretes with reasonable strengths (T2, T3, and T4) or with low strength (T5). In this sense, this research demonstrates the possibility of this material playing an important role in the propagation of lightweight concrete with the incorporation of EPB in civil construction projects throughout the country.

**Keywords:** Lightweight aggregate. Lightweight concrete. EPB pearls.

## Introdução

A utilização do Concreto Leve (CL) apresenta benefícios tanto técnicos quanto financeiros em comparação com o concreto convencional com agregados naturais, especialmente quando aplicado em elementos estruturais de concreto pré-moldado. Segundo Catoia (2012), o emprego do CL proporciona reduções de 20% a 50% nos custos de transporte por unidade de volume de concreto, sendo capaz de viabilizar a produção de componentes com dimensões maiores utilizando os mesmos equipamentos presente no canteiro, e a diminuição do tempo de montagem das estruturas em cerca de 25% a 50%. Ainda que o custo unitário do CL seja relativamente elevado, a incorporação do CL na estrutura de uma edificação pode resultar em economias de 2% a 7% no custo total da obra (Daly, 2000). Isto se deve ao fato da possibilidade de termos ao final uma estrutura mais leve, na qual promoverá a necessidade de estruturas de fundações menos robustas.

Conforme mencionado por Rossignolo (2009), em contextos de pontes com vãos consideráveis construídos em concreto armado, o peso próprio da estrutura pode compreender até 70% das cargas estruturais totais. Nesse sentido, a incorporação de CL oferece a oportunidade de dimensionar seções estruturais mais compactas, demandando menor quantidade de aço. No contexto brasileiro, é relevante notar que a aplicação de CL permanece predominantemente restrita à produção de elementos pré-fabricados. Além disso, é importante ressaltar que as diretrizes normativas referentes a esse tipo de concreto diferenciado são carentes. É válido assinalar que inúmeras perspectivas de aplicação permanecem inexploradas, a exemplo da sua utilização em lajes com vãos significativos, com possíveis substituições das lajes nervuradas por lajes maciças. Outra direção a ser considerada é a melhoria do desempenho de lajes nervuradas, conforme destacado por Catoia (2012).

Na cidade de Palmas - TO, tem-se observado, principalmente em edifícios altos, a implantação do sistema construtivo de painéis de alvenaria a partir de placas de concreto pré-moldadas. Trata-se de um sistema estudado a alguns anos (Misurelli *et al.*, 2009; Ibracon, 2018) com vantagens e desvantagens. Um dos desafios destes elementos de vedação está relacionado ao seu elevado peso, implicando em maiores custos, por exemplo, nas fundações.

Neste sentido, pesquisas direcionadas à otimização do desempenho de concretos leves ganham relevância, especialmente quando novas direções no campo das estruturas de concreto armado demandam inovações contínuas. Essas tendências, que se mostram cada vez mais proeminentes, acabam por encontrar obstáculos nos limites inerentes dos materiais empregados. Portanto, a busca por aprimoramentos no CL assume um papel fundamental para viabilizar a concretização plena dessas inovações estruturais.

Apesar do EPS não estar definido na NBR NM 35 (ABNT, 2019) como agregado leve para fins de produção de concreto estrutural, este trabalho de pesquisa visa fornecer subsídios de forma a verificar sua utilização para este fim. Vale ressaltar também que considerando a faixa de variação da dimensão máxima do EPS (de 2 a 5 mm), adota-se que, no que tange ao

seu diâmetro, o mesmo possui características tanto de agregado miúdo, quanto de graúdo. Desta forma, este estudo considera que as misturas cimentícias aqui avaliadas tratam-se de concreto leve.

No trabalho de Moncada *et al.*, 2019, foi realizada a comparação de um concreto convencional de 20 MPa com um concreto leve estrutural usando EPS e Argila Expandida em substituição total do agregado convencional, e observou-se uma diminuição da resistência, porém a intensidade estava acima dos 20 MPa. No trabalho de Beline *et al.*, 2015, os autores produziram concreto leve estrutural realizando a substituição parcial do agregado graúdo convencional em 33,3%, 66,6% e 100% por Argila Expandida ou por EPS em massa, em que todas as resistências ficaram abaixo de 20 MPa. Já no trabalho de Schuh, 2017, o autor estudou as propriedades físicas e mecânicas de concreto leve estrutural em 60% e 100% de substituição do agregado graúdo convencional por EPS. As resistências obtidas ficaram inferior a 7 MPa aos 28 dias de cura.

Visando avaliar a performance de concretos leves estruturais com utilização de EPS, principalmente parâmetros como a resistência à compressão axial (no estado endurecido) e também a sua massa específica aparente (no estado fresco), foram estabelecidas misturas cimentícias cujos volumes de EPS variaram numa faixa entre 20 e 50 % em relação ao volume total de material. Em seguida os resultados obtidos pela dosagem experimental foram analisados estatisticamente tendo como principal variável a porcentagem de adição de agregado leve em relação ao volume de concreto.

## **Materiais e métodos**

O procedimento experimental iniciou-se pela definição das quantidades de agregado miúdo em relação a sua composição granulométrica definida em conformidade com a NBR 17054 (2022) para a dosagem do concreto, o agregado utilizado neste trabalho foi areia de rio da região de Palmas (Rio Tocantins). Foi empregado um método experimental de empacotamento, ajustado conforme necessário, criado pelos membros do grupo, utilizando três faixas granulométricas diferentes – 150  $\mu$ m, 300  $\mu$ m e 0,6 mm – com o objetivo de alcançar a máxima redução de espaços vazios no empacotamento granular (melhor compactação), resultando em uma resistência mecânica superior, segundo os conceitos apresentados por Castro e Pandolfelli (2009).

Tabela 1 - Granulometria do agregado miúdo utilizado nos traços de concreto

<b>Dimensão</b>	<b>Quantidade</b>
150 $\mu$ m	165,88
300 $\mu$ m	1874,05
0.6 mm	960,05

Fonte: próprios autores (2023)

No que tange aos materiais utilizados neste trabalho, a escolha dos mesmos ocorreu por conta de sua disponibilidade na região do município de Palmas - TO, viabilidade econômica e qualidade. O objetivo foi empregar materiais que promovessem a possibilidade do atendimento dos resultados pretendidos pelo trabalho de pesquisa. Vale ressaltar que na região de Palmas - TO inexistem indústrias e comércios que fornecem pérolas de EPS, especificamente para a construção civil, estes demandam grandes volumes quando utilizados em obras de construção civil, por exemplo. Neste sentido, este material foi adquirido em lojas de artigos para artesanato e papelerias da região deste município, cujo diâmetro das pérolas estava entre 2 e 5 mm, aproximadamente.

O cimento utilizado na confecção das amostras foi escolhido de forma a permitir um ganho de performance mais acentuado, desta forma, optou-se pelo Cimento Portland de Alta

Resistência Inicial (CPV – ARI) da marca CIPLAN. Este cimento possui a característica de alcançar resistências iguais ou superiores à 14 Mpa com idade de um dia (ABNT, 2018). Esse ganho de resistência inicial é obtido por meio da alteração na proporção de calcário e argila na fabricação do clínquer, juntamente com uma moagem mais fina do cimento, além da utilização de matéria prima de melhor qualidade para a sua produção. Isso resulta em reações de hidratação mais intensas e eficazes quando em contato com a água, permitindo que o cimento desenvolva resistências elevadas em um curto período de tempo.

Além de materiais básicos como cimento, areia e água, foram utilizadas adições (sílica ativa) e aditivos (superplastificantes). O aditivo usado foi o Sika Viscocrete 3535 CB que é um superplastificante para concretos de alto desempenho. E a adição foi a Sílica Ativa Tecnosil, nada mais é do que um pó fino pulverizado decorrente do processo de fabricação do silício metálico ou ferro silício. Portanto, é um produto de origem metalúrgica, o que lhe confere maior estabilidade quanto a sua composição química e física. A capacidade de uma Sílica Ativa (microsílica) reagir às temperaturas normais com hidróxido de cálcio (presente na pasta de cimento Portland hidratada) e de tornar silicato de cálcio hidratado adicional ocasiona uma redução significativa na porosidade da matriz e da zona de transição na interface. Por isso viu-se a necessidade da utilização desses materiais na dosagem do concreto a fim de gerar um produto com um melhor comportamento.

Figura 1 - Materiais de dosagem utilizados e adensamento dos corpos de prova



Fonte: próprios autores (2023)

A elaboração do traço do concreto foi baseada na dosagem pré-estabelecida por Dias (2006) para concretos de pós reativos, e posteriormente foi adaptada com os devidos materiais disponíveis, à vista disso chegou-se ao traço especificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Traço de referência utilizado no trabalho de pesquisa

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>
Cimento	300 g
Sílica Ativa	50 g
Areia	550 g
Água	105 ml
Superplastificante	3,15 ml
Relação a/a	0,3

Fonte: próprios autores (2023)

Após a definição da dosagem do concreto foi produzido um traço conforme as definições da NBR 12655 (ABNT, 2015) sem a adição do agregado leve, possibilitando a medição do volume resultante do concreto sem a adição do EPS. Após isso, definiu-se todos os traços experimentais que seriam realizados com a adição do EPS. O cálculo da relação das pérolas de EPS deu-se pelo volume aparente dos materiais, pois a massa específica do poliestireno expandido é bem inferior ao restante dos materiais usados.

Tabela 3 - Relação de materiais em cada tipo de traço

Traço	Volume de Insumos (cm <sup>3</sup> )	Volume de EPS (cm <sup>3</sup> )	Volume Total	Quantidade de EPS (%)
T1	400	0	400	0,0
T2	400	100	500	20,0
T3	400	200	600	33,9
T4	400	300	700	42,9
T5	400	400	800	50,0

Fonte: próprios autores (2023)

Dessa forma, com os traços já definidos (Tabela 3), prosseguiu-se com a execução das misturas cimentícias. O concreto foi produzido no laboratório de Materiais de Construção do IFTO/Campus Palmas usando a argamassadeira Contenco de duas velocidades, haja vista que a quantidade de material utilizada atendia os requisitos de volume máximo do equipamento, e proporcionou uma mistura homogênea e com características adequadas às exigências de norma.

A mistura dos insumos, assim como o tempo necessário para cada preparo, foi realizada seguindo as especificações da norma. Após a mistura dos materiais na argamassadeira, o concreto foi colocado em formas cúbicas de 5 cm de aresta com três corpos de provas para cada traço seguindo os mesmos critérios de procedimento de moldagem, adensamento e cura de corpos de prova presentes na NBR 5738 (ABNT, 2016). Vale ressaltar que o adensamento foi realizado por vibração do molde sobre mesa de adensamento, conforme apresentado na Figura 1.

Após 21 dias do início do processo de cura úmida por imersão, foi realizado, segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 2018), ensaio da resistência mecânica à compressão axial para os corpos de prova que (arestas cúbicas de 5 cm de lado), usando a máquina universal de ensaios modelo DL - 10.000, microprocessada, da marca EMIC e ainda, a determinação da massa específica aparente no estado endurecido.

De posse das respostas experimentais, os dados foram analisados usando o coeficiente de Pearson. O objetivo foi verificar se havia correlação entre a resistência à compressão axial e a porcentagem de adição de EPS na mistura do concreto. No teste de Tukey empregou-se o nível de 5% de significância para identificar quais pares de médias seriam estatisticamente iguais ou diferentes.

## Resultados e discussões

Neste estudo, as respostas obtidas experimentalmente para os concretos leves com adição de EPS foram a resistência à compressão aos 21 dias e a massa específica do concreto no estado fresco. A resistência à compressão foi avaliada conforme as orientações da norma NBR 5739 (ABNT, 2018), enquanto a massa específica foi calculada dividindo a massa dos corpos de prova de concreto pelo volume dos moldes, seguindo o procedimento estabelecido pela norma ABNT 2009.

A Tabela 4 exibe os resultados da resistência à compressão em MPa dos concretos aos 21 dias de idade, juntamente com algumas métricas da Estatística Descritiva, como a média e medidas de dispersão.

Tabela 4 - Resultados da resistência à compressão axial (MPa) e medidas de tendência central

Corpos de Provas (CP's)	Resistência em MPa				
	T1	T2	T3	T4	T5
CP1	73,4	48,2	37,7	23,8	19,5
CP2	66	41,4	21,3	27,2	17,9
CP3	52,2	46,5	33,1	26	19,2
Média (MPa)	63,9	45,4	30,7	25,7	18,9
Variância (MPa) <sup>2</sup>	115,8	12,5	71,6	3,0	0,7
Desvio Padrão (MPa)	10,8	3,5	8,5	1,7	0,9
Coefficiente de Variação (%)	16,8%	7,8%	27,6%	6,7%	4,5%

Fonte: próprios autores (2023)

Percebe-se na Tabela 4 que em cada traço foi realizado 3 corpos de provas, e que a dispersão de uma resistência em torno de 50% da média provoca um aumento no coeficiente de variação, o que pode ser notado no traço T3 (concreto com 33,3% de EPS). Isso poderia ser evitado produzindo uma quantidade maior de corpos de provas.

Quanto à resistência à compressão, as respostas apresentadas seguem conforme o esperado, ou seja, proporcionando um aumento dos percentuais de inclusão de EPS no concreto, por se tratar de um material mais frágil, houve uma redução dos valores das respectivas resistências. Isso pode ser confirmado através do coeficiente de relação de Pearson, cujo valor obtido foi - 0,97, o que evidencia uma correlação negativa muito forte.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados do teste de Tukey, de forma a se permitir a comparação das médias das resistências à compressão axial das cinco misturas cimentícias (traços de concreto) produzidas (tratamentos).

Tabela 5 - Resultados do teste de Tukey

Tratamentos	Média (MPa)	Código
T1	63,87	a
T2	45,37	b
T3	30,70	bc
T4	25,67	c
T5	18,87	c

Fonte: próprios autores (2023)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5, pode-se perceber que o maior valor de resistência à compressão axial foi observado no tratamento T1 (concreto com 0% de EPS). Avaliando o código apresentado na tabela retromencionada, verifica-se que ele é diferente estatisticamente a um nível de significância de 5% dos demais traços. O T1 tem código "a" e as demais misturas não possuem a letra "a" no código. Do ponto de vista estatístico, tem-se que o T1 é diferente dos demais traços. Já o traço T2 (concreto com 20% de EPS) o resultado de resistência à compressão axial é igual a T3 (concreto com 33,3% de EPS), pois a letra "b" está no código de T2 e T3, logo a resistência de T2 não difere de T3, mas T2 difere das demais

misturas de concreto. Ainda na tabela 5, T3 não difere estatisticamente de T4 (concreto com 42,9% de EPS) e de T5.

Segundo a NM 35 (ABNT, 2019) o concreto estrutural produzido com agregado leve, deve possuir características específicas no que tange à massa específica aparente, cujos os valores devem estar postulados considerando as resistências à compressão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Relação entre resistência à compressão e massa específica para concretos leves estruturais

<b>Resistência à Compressão aos 28 dias (valores mínimos) (MPa)</b>	<b>Massa Específica Aparente (valores máximos) (kg/m<sup>3</sup>)</b>
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: ABNT (2019)

Os resultados encontrados neste trabalho de pesquisa apresentaram os valores demonstrados na Tabela 7, considerando cada um dos traços executados no Laboratório de Materiais do IFTO/Campus Palmas.

Tabela 7 - Resistência à compressão média e massa específica aparente dos traços-alvo

<b>Traços</b>	<b>Resistência à Compressão média (MPa aos 28 dias)</b>	<b>Resistência Característica à Compressão - f<sub>ck</sub> (MPa)</b>	<b>Massa Específica Aparente (kg/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Classificação (ABNT, 2015a)</b>
T1	63,8	46	2476	C <sup>a</sup>
T2	45,3	39,5	1979	C <sup>a</sup>
T3	30,7	16,8	1934	Não estrutural
T4	25,6	22,8	1632	CL
T5	18,8	17,3	1595	Não estrutural

a - C (concreto normal).

Fonte: próprios autores (2023)

Considerando as restrições apresentadas na Tabela 6, e observando-se os resultados obtidos pelo trabalho de pesquisa (Tabela 7), verifica-se que para concretos com valores de resistência à compressão superiores à 28 MPa, o limite permitido para a massa específica aparente é 1840 kg/m<sup>3</sup>. Avaliando-se a massa específica e a resistência média, o traço T4 pode ser enquadrado como concreto leve estrutural. Vale ressaltar que em função da quantidade de amostras (menor que 20), não é possível calcular o f<sub>ck</sub>. Assim sendo, foi realizada a comparação utilizando-se o valor médio das resistências. As demais misturas, ou são concretos convencionais ou não são concretos (função da massa específica e do f<sub>ck</sub>).

As misturas T4 e T5 cujos valores de resistência à compressão foram de 25,6 e 18,8 MPa, respectivamente, atendem aos requisitos da Tabela 6 no que tange à massa específica aparente máxima, para valores mínimos de resistência de 21 e 17 MPa, respectivamente.

### Considerações finais

O objetivo deste estudo foi avaliar a performance de misturas cimentícias de concreto com a utilização de agregados leves (EPS). Os ensaios laboratoriais realizados neste trabalho,

segundo as prescrições normativas da ABNT, nos traços de concretos avaliados (observados as suas variadas composições), demonstrou que no que tange à resistência média, apenas o T4 pode ser utilizado em aplicações na construção civil, na categoria de concreto leve estrutural. As demais misturas ou são concretos normais, por conta de suas massas específicas aparentes, ou não estruturais, quando avaliado os resultados das resistências médias obtidas. Assim sendo, há viabilidade técnica para a produção de concretos leves com propriedades que atendam aos requisitos normativos para a construção civil, sem a utilização de agregados convencionais como britas, seixos e outros materiais.

Apesar dos resultados alcançados com as diferentes proporções de pérolas de Poliestireno Expandido, as pesquisas indicam que o material, mesmo não sendo tradicionalmente considerado como um componente de concretos leves, pode ser empregado como uma alternativa versátil em diversas aplicações. Isso abre a oportunidade para a produção de concretos com reduzida massa específica aparente e diversas resistências. Conseqüentemente, um vasto leque de oportunidades e alternativas se encontra à disposição para atender às diversas demandas técnicas, operacionais e econômicas inerentes aos procedimentos construtivos.

Foi observado que o aumento na quantidade de EPS nas misturas teve um impacto direto na resistência à compressão do concreto. Assim, os resultados adquiridos, juntamente com avaliações de outras características não abordadas nesta pesquisa, como o módulo de elasticidade, a resistência à tração e a durabilidade dos concretos, possuem a capacidade de desempenhar um papel de destaque ao incentivar a integração do concreto leve com a incorporação de EPS em projetos de engenharia civil no contexto brasileiro.

Uma forma de se minimizar os valores de massa específica das misturas avaliadas seria a possibilidade de se promover uma substituição parcial do agregado miúdo empregado, por vermiculita expandida, garantindo assim uma redução nos resultados da massa específica. Em contrapartida os valores de resistência à compressão também seriam afetados quando da inserção deste novo material. Neste sentido, fica a sugestão de investigação do uso da vermiculita no comportamento das misturas avaliadas no que tange às suas propriedades.

## Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953:** Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833:** Concreto – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 35:** Agregados Leves para Concreto Estrutural – Especificações. Rio de Janeiro, 2019.

BELINE, E. L.; ANGELOTTI, A. M.; COELHO, T. M.; SANTOS, B. S. **Substituição de agregados graúdos do concreto por materiais alternativos na fabricação de elementos não estruturais em concreto leve.** IX Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial (IX EEPA), 2015.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil.** Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes.** 2012. 153p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DALY, A. F. *Use of lightweight aggregate concrete in bridges. In: Second International Symposium of Structural Lightweight Aggregate Concrete.* Kristiansand, Noruega, 2000.

DIAS, Romel. **Análise Experimental Do Concreto De Pós Reativos: Dosagem E Propriedades Mecânicas.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

IBRACON. **Sistemas construtivos paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto,** São Paulo, 2018. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/site\\_revista/concreto\\_construcoes/pdfs/revista90.pdf](http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista90.pdf)>. Acesso em 28 de junho de 2023.

MISURELLI, H., MASSUDA, C. Como construir Paredes de Concreto. **Revista TÉCNICE,** Edição: 147, 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/1653308-Como-construir-paredes-de-concreto.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

MONCADA, J.E.C.M.; FLOR, L.D.S; SILVA, V. A; PACHECO, J.S. **Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve.** Revista Teccen. 2019 Jan/Jun; 12 (1): 02-07.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações.** 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 2009.

SCHUH, P. D. M. **O uso do EPS na construção civil: estudo comparativo entre concreto leve com EPS e o concreto convencional.** Trabalho de conclusão de curso: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), 2017.