

## CONCRETO LEVE NÃO ESTRUTURAL PRODUZIDO COM POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS.

Alisson da Silva Lima<sup>1</sup>  
Aryele Lima da Cunha<sup>2</sup>  
Fernando Henrique Lúcio da Silva<sup>3</sup>  
Zodínio Laurisa Monteiro Sampaio<sup>4</sup>

**RESUMO:** Nas últimas décadas, a construção civil vem crescendo de forma significativa, causando impactos ambientais devido à geração de grandes volumes de resíduos sólidos e emissão de gases de efeito estufa. Com o intuito de minimizar esse ponto crítico, diversos estudos têm se consolidado na busca de uma destinação plausível para tal. Entre as diversas alternativas sugeridas por pesquisadores, a incorporação desses resíduos no concreto tem se mostrado uma forma eficaz na redução do descarte deste no meio ambiente. Neste sentido, a presente pesquisa tem como objetivo analisar as propriedades do concreto leve produzido com poliestireno expandido (EPS) e resíduos de borracha de pneus (RBP), mediante ensaios de consistência e resistência à compressão. Os resultados mostraram que o uso de EPS e RBP diminui a resistência à compressão, absorção, índice de vazios, massa específica e consistência. No entanto, o concreto pode ser uma boa alternativa para elementos não estruturais que necessitam de isolamento térmico e acústico devido à presença dos agregados leves.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Resíduos de borracha de pneus. Poliestireno expandido.

**ABSTRACT:** In recent decades, civil construction has grown significantly, causing environmental impacts due to the generation of large volumes of solid waste and CO<sub>2</sub> emissions. In order to minimize this critical point, several studies have been consolidated in the search for a plausible destination for this. Among the several alternatives suggested by researchers, the incorporation of these residues into the concrete has been shown to be an effective way to reduce its disposal in the environment. In this sense, the present research aims to analyze the properties of lightweight concrete produced with expanded polystyrene (EPS) and rubber tire residues (RBP) through tests of consistency and compressive strength. The results showed that the use of EPS and RBP decreases the compressive strength, absorption, voids, density and consistency. However, concrete can be a suitable alternative for non-structural elements that require thermal and acoustic insulation due to the presence of light weight aggregates.

**Keywords:** Sustainability. Rubber tire waste. Expanded polystyrene.

---

<sup>1</sup> E-mail: alisson.de.lima@hotmail.com.

<sup>2</sup> E-mail: aryelejs@hotmail.com.

<sup>3</sup> E-mail: engfhls@gmail.com.

<sup>4</sup> Engenheiro Civil na UFRN, Mestre em Engenharia Civil na área de materiais e processos construtivos na UFRN, Doutor em ciência e Engenharia dos Materiais na UFRN, Professor e pesquisador no Centro Universitário UNIFACEX. E-mail: zodinio@hotmail.com.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 10 de Julho de 2018; aprovado em 11 de Outubro de 2018.

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década, vários pesquisadores têm investigado formas de reutilizar no concreto, diversos resíduos que são comumente descartados no meio ambiente (Z. Sampaio, 2014; W. H. Young, L. C. Yung; L. H. Hua, 2013; C. A. ISSA and G. SALEM, 2013). Resíduos como polimento de porcelanato, cinza do bagaço da cana de açúcar e resíduo de borracha de pneu são exemplos de materiais que são diariamente despejados na natureza sem tratamento adequado, acarretando em graves problemas o ambiente (Z. SAMPAIO, 2014 et al.).

Com o passar do tempo, o avanço tecnológico permitiu melhorias e expansibilidade das vias rodoviárias, sendo assim, a frota de veículos no mundo cresceu de forma significativa, acarretando no aumento em grande escala da quantidade de RBP.

Geralmente o RBP é descartado em aterros sanitários, no entanto, devido a difícil decomposição desse material e a redução considerável da vida útil dos aterros com essa prática, esse tipo de destinação tem se mostrado inviável ecologicamente (W. H. YOUNG, L. C. YUNG, AND L. H. HUA, 2013).

Embora seja inviável o uso do RBP como material estrutural, visto que reduz consideravelmente a resistência à compressão (C. A. ISSA AND G. SALEM, 2013; A. M. MARQUES, J. R. CORREIA, AND J. BRITO, 2013; H.-Y. WANG, B.-T. CHEN, AND Y.-W. WU, 2013; R. M. ALBUQUERQUE, 2006), pesquisadores vêm demonstrando grande potencial de utilização em outras áreas, especialmente no amortecimento de vibrações, resistência ao impacto, resistência ao fogo, isolamento térmico em fachadas, entre outros (C. A. ISSA AND G. SALEM, 2013; A. M. MARQUES, J. R. CORREIA, AND J. BRITO, 2013; H.-Y. WANG, B.-T. CHEN, AND Y.-W. WU, 2013; R. N. SIDDIQUE, T. R, 2004). Contudo, esses esforços não são suficientes para atender a quantidade de RBP produzido a cada ano, o que reforça a necessidade de estudos mais aprofundados para incrementar a sua aplicação em grande escala.

Já o EPS apresenta em sua composição pequenos grânulos de poliestireno expandidos, alcançados através de gases, fazendo com que esses eles aumentem em até 50 vezes o tamanho original. Apresentam uma enorme aplicabilidade, dentre as quais, podemos destacar sua aplicação na construção civil. Nesse quesito, podemos encontrar o EPS em telhas térmicas, lajes, forros e até na estabilização de solos (E. GUNYISI ET AL, 2012).

Os Concretos leves (CL), por sua vez, têm ganhado grande aceitação no mercado construtivo devido às suas inúmeras vantagens face ao concreto convencional que incluem: redução do peso próprio do concreto; aumento de área útil (devido à redução das dimensões das peças estruturais); manuseio e operações de transporte menos dispendiosos; aumento do isolamento térmico e acústico e resistência ao fogo (J. A. BOGAS, J DE BRUTO, AND J. M. FIGUEIREDO, 2015).

Na produção de concretos leves, normalmente parte ou todos os agregados são substituídos por agregados leves (argilas expandidas, borracha de pneu, poliestireno expandido, vermiculita expandida e etc.), o que diminui consideravelmente a massa específica do material (P. SHAFIGH, H. BIN MAHMUD, M. Z. BIN JUMMAT, R. AHMMAD, NA S. BAHRI, 2014). Normalmente são considerados concretos leves os concretos com massa específica abaixo de  $2000\text{kg/m}^3$  (J. R. NEWMAN, 2005)., já ACI 213R-03 (ACI, 2003). define uma variação de massa específica entre  $1400$  e  $1850\text{ kg/m}^3$ .

A substituição de agregados normais por agregados de baixa massa específica na produção de concretos leves, diminui a resistência à compressão devido à baixa resistência desses agregados (P. J. M. MEHTA, P. K. MONTEIRO, 2008). A Diminuição da massa específica do concreto, mantendo a resistência do material em níveis aceitáveis, sem aumentar o consumo de cimento (o que eleva os custos de produção do concreto), representa um verdadeiro desafio na prática. Nesse sentido, o uso de concretos leves sem funções estruturais pode contribuir para a ampla aceitação desses materiais.

Diante do exposto o objetivo desse trabalho é analisar as propriedades reológicas do concreto produzido com poliestireno expandido (EPS) e resíduos de borracha de pneus (RBP).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A maioria dos estudos que se concentram no concreto leve auto adensável (CLAA) é devido a fácil segregação que o CL sofre quando é adensado normalmente. Os agregados usados na fabricação do CL, por terem densidades inferiores aos demais componentes, flutuam facilmente com a vibração oriunda do adensamento, ocasionando assim a segregação. Vários pesquisadores têm investigado as propriedades do CLAA, a seguir são citados alguns trabalhos.

Güneyisi; Geso\Uglu; Booya (E. GUNEYISI ET AL, 2012). realizaram um estudo experimental das propriedades do concreto leve auto adensável fabricados com agregados Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 10 de Julho de 2018; aprovado em 11 de Outubro de 2018.

leves oriundos de cinzas volantes (CV) e sílica ativa (SA). Um total de 9 traços de CLAA foram fabricados com um fator água/cimento (A/C) de 0,35 com um teor de cimento de 550 kg/m<sup>3</sup> incluindo o concreto de referência. As propriedades no estado fresco do CLAA foram testadas por espalhamento 500<sub>t</sub>, diâmetro de espalhamento, Funil V e caixa L. Também um estudo estatístico foi realizado nos CLAA com e sem adições minerais através de GLM-ANOVA. Os resultados indicaram que o uso de combinação de CV e SA junto diminui as propriedades reológicas com exceção do ensaio da caixa L.

O poliestireno expandido (EPS) tem sido usado cada vez mais na construção civil graças a sua baixa densidade e condutividade térmica (ver figura 1). Esses dois fatores proporcionam vantagens bastante significativas tais como: elementos mais leves; redução do peso próprio das estruturas; redução do custo de transporte e montagem e maior conforto térmico. CLs podem ser obtidos pela substituição de parte dos agregados tradicionais por EPS granulado. Utilizando esse material na fabricação do concreto leve é possível reduzir a densidade de 100 – 200 kg/m<sup>3</sup>. No entanto, o uso do EPS também reduz significativamente a resistência à compressão, fato esse que dificulta a fabricação de CLE com densidades inferiores a 1600kg/m<sup>3</sup>.

O principal problema associado aos agregados leves porosos é que eles absorvem muita água durante a mistura, fato esse que acaba gerando um aumento significativo de água visando manter a trabalhabilidade em níveis aceitáveis. O aumento adicional de água gera como consequência a necessidade de aumento do teor de cimento sem qualquer aumento de resistência. Nesse caso, agregados leves não absorventes (EPS) podem ser a solução para contornar esse problema (M. M. RANJBAR AND S. Y. MOUSAVI, 2012).

Os efeitos do uso de poliestireno expandido (EPS) em substituição ao agregado na resistência e durabilidade de CLAA foram investigados por (M. M. RANJBAR AND S. Y. MOUSAVI, 2012), CLAA com diferentes teores de água/cimento e EPS (10, 15, 22,5 e 30%) foram submetidos a dois regimes de cura distintos. As propriedades de durabilidade foram avaliadas através de absorção de água, resistividade elétrica, permeabilidade ao ar e penetração de cloreto. Os resultados mostraram que misturas EPS curadas através do regime de molhagem com sal apresentaram melhor resistência à compressão. CLAA com EPS mostraram uma baixa absorção aos 90 dias e as misturas com densidades superiores a 2.000 kg/m<sup>3</sup> mostraram baixo risco de corrosão sendo classificado como de boa qualidade.

### 3 METODOLOGIA

O tipo de cimento utilizado na produção do concreto desta pesquisa foi o CP II 40 F, proveniente de um único lote de fabricação. Adotou-se o cimento em questão, por se tratar de um tipo que vem crescendo sua utilização nas obras de construção civil em geral. Para o cimento foram realizados ensaios de finura NBR 11579 (ABNT, 2012), através da peneira nº 200, tempo de pega NBR NM 65 (ABNT, 2003) com o aparelho de Vicat e agulhas de início e final de pega expansibilidade NBR 11582 (ABNT, 1991) com ajuda das agulhas de Le Chatelier, massa específica NBR NM 23 (ABNT, 2001) com ajuda do frasco de Le chatelier e querosene. O ensaio de resistência à compressão foi realizado com 12 corpos de provas cilíndricos de 5x10cm e rompidos nas idades de 3, 7 e 28 de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2007).

O RBP empregado na pesquisa foi fornecido pela J. M. Pneus Recapados. Após o recebimento os mesmos foram peneirados para separação das fibras, com a peneira de malha #1,2 mm, com o intuito de obter partículas uniformes e eliminação de impurezas e tamanhos indesejáveis.

O EPS foi adquirido no comercio local da cidade da grande natal-RN e armazenado em recipiente fechado.

A areia foi previamente lavada e seca em estufa a 105 °C por um período médio de 72 horas.

Os agregados (areia e brita) foram submetidos a ensaios de massa específica real – NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 53 (ABNT, 2009), através do frasco de Chapman (agregado miúdo) e pesagem hidrostática (agregado graúdo). As massas unitárias foram determinadas com ajuda de uma caixa cúbica com um volume de 18 cm<sup>3</sup> determina NBR NM 45 (ABNT, 2006). A composição granulométrica dos agregados foi determinada através de um conjunto de peneiras de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003).

A água utilizada para realização de alguns ensaios e para a confecção do concreto foi derivada da rede pública de distribuição da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Para a presente pesquisa, foi empregado para o concreto o traço em massa 1:3,42:1,08 (cimento:areia:brita) com um fator água/cimento de 0,5 e 3% de aditivo sílica ativa marca MC-BAUCHEMIE baseado na massa do cimento.

Foram confeccionados 12 corpos de prova cilíndricos (10 cm diâmetro x 20 cm altura) por proporção de mistura (traço) cada teor de incorporação de RBP (1%, 3%, 5% e 7%) e EPS (50% e 100). As proporções adotadas foram baseadas em estudos preliminares com RBP e EPS. Ao todo 8 traços fabricados de concreto foram produzidas totalizando 96 amostras. Os detalhes dos traços encontram se expostos na Tabela 6.

As propriedades mecânicas dos concretos resultantes foram avaliadas mediante os ensaios de resistência à compressão de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2006). A absorção, índice de vazios e massa específica foram realizados de acordo a NBR 9778 (ABNT, 2005).

No concreto fresco foi apenas realizado o ensaio de Slump test, através do abatimento do tronco de cone de acordo com NM 67 (ABNT, 1998).

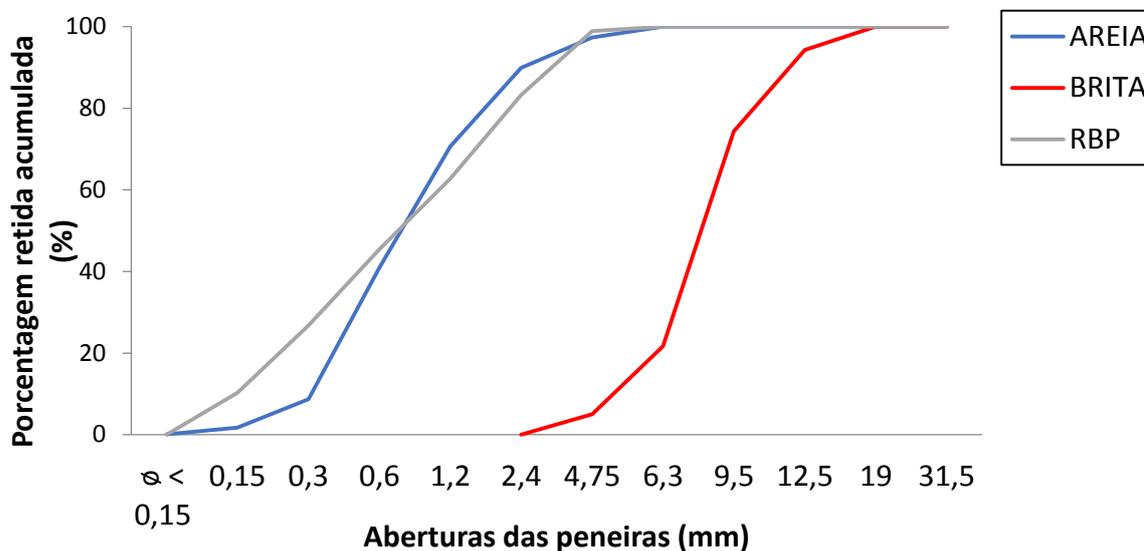
O cimento utilizado na caracterização foi o Cimento Portland CP II 40 F. A seguir, na Tabela 1 são apresentados os resultados das principais características do cimento portland. Os resultados obtidos encontram se dentro das faixas estabelecidas pelas normas para esse tipo de cimento.

**Tabela 1** – Caracterização do cimento

<b>Ensaio</b>	<b>Resultados</b>
Módulo de Finura (%)	9,17%
Massa esp. Real (g/cm <sup>3</sup> )	3,056 g/cm <sup>3</sup>
Consistência Normal	0,29
Início de pega	1h43min
Fim de pega	4h15min
Expansibilidade	0,58mm

**Fonte:** Autoria própria, 2017.

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica dos agregados usados na presente pesquisa. Na figura podemos observar que todos os agregados possuem uma distribuição bem graduada e dentro das faixas da norma.

**Figura 1** - Curva granulométrica do agregado miúdo, brita e RBP.

Fonte: Autoria própria, 2017.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos da caracterização da areia e RBP e a Tabela 4 as características do EPS usados na presente pesquisa.

**Tabela 2** – Caracterização dos agregados

Ensaio	Areia	RBP
Módulo de finura	3,11 %	3,60 %
Diâmetro máximo	4,8 mm	4,8 mm
Massa específica real	2,62 g/cm <sup>3</sup>	0,95 g/cm <sup>3</sup>
Massa unitária	1,44 g/m <sup>3</sup>	0,65 g/m <sup>3</sup>

Fonte: Autoria própria, 2017.

**Tabela 3** – Propiedades físicas e químicas do EPS

Dados	Resultados
Estado físico a 25° C	Sólido amorfo
Forma física	Granulados
Odor	Inodoro

Cor	Variável
Densidade	Entre 10 e 60 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura de amolecimento	80° c
Solubilidade na água	Não é solúvel em água
Solubilidade noutros solventes	Solúvel em solventes aromáticos, halogenicos e cetonas

Fonte: Autoria própria, 2017.

**Tabela 4 - Proporção das mistura (em massa) para produção do concreto**

TRAÇO (1:3,42:1,8)	CIMENTO (g)	AREIA (g)	BRITA (g)	ÁGUA (g)	ADITIVO (g)	RBP (g)	EPS (g)	RBP (%)	EPS (%)
<b>T07.1</b>	5017,13	17 155,99	-	2,5101	1505,14	352,2	101,11	7	100
<b>T05.1</b>	5017,13	17 155,99	-	2,5101	1505,14	250,86	101,11	5	100
<b>T03.1</b>	5017,13	17 155,99	-	2,5101	1505,14	150,51	101,11	3	100
<b>T01.1</b>	5017,13	17 155,99	-	2,5101	1505,14	50,17	101,11	1	100
<b>TB7.05</b>	5017,13	17 155,99	5399,27	2,5101	1505,14	352,2	50,55	7	50
<b>TB5.05</b>	5017,13	17 155,99	5399,27	2,5101	1505,14	250,86	50,55	5	50

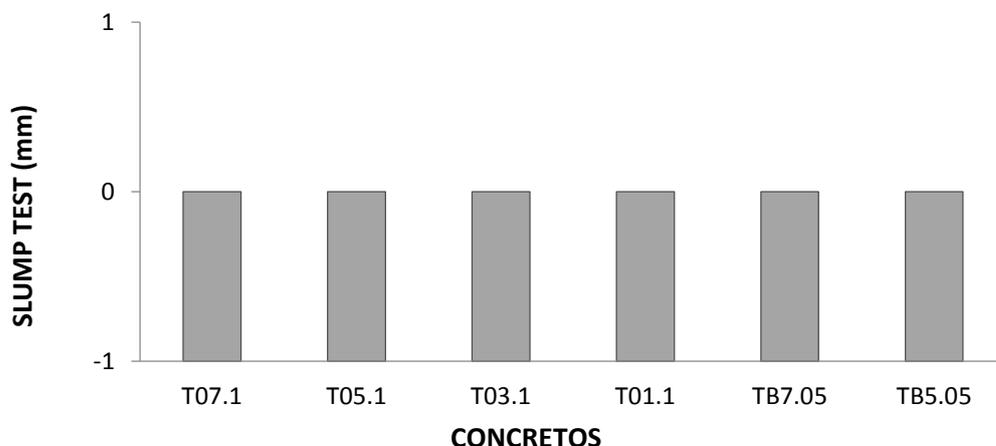
Fonte: Autoria própria, 2017.

## 4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

### 4.1 SLUMP TEST

Na Figura 2 estão apresentados os resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone. Na figura podemos observar que todos os concretos produzidos não apresentaram abatimento, ou seja, não apresenta trabalhabilidade. Este fato é devido a natureza dos agregados utilizados e a quantidade de água usada na produção dos concretos. A adição dos EPS e RBP, que foram os principais causadores na perda de abatimento.

**Figura 2** – Resultados dos ensaios de Slump test



Fonte: Autoria própria, 2017.

**Figura 3** – Resultados dos ensaios de Slump test



Fonte: Autoria própria, 2017.

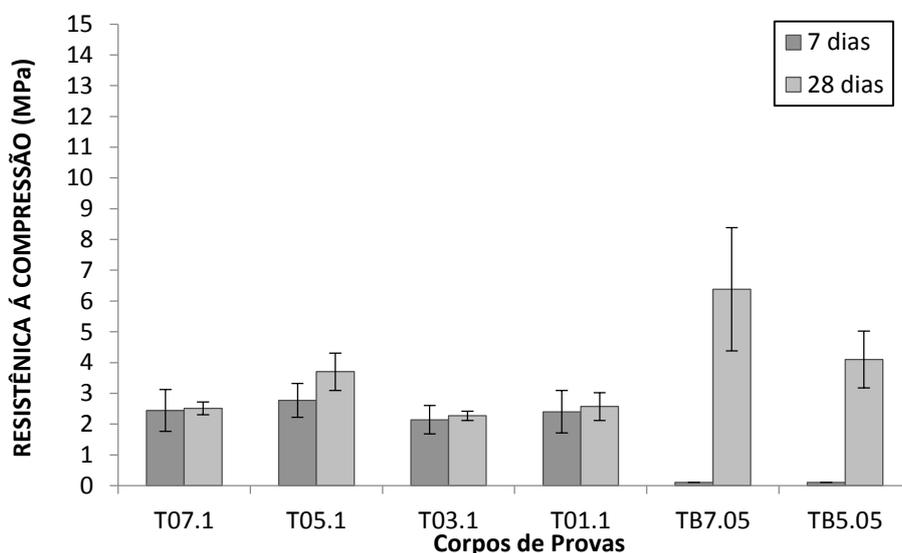
#### 4.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Na Figura 4 podemos notar que os concretos que possuem brita na composição (TB7.05 e TB.05) apresentaram um desempenho melhor na resistência à compressão aos 28 dias. Esse comportamento é devido a natureza do agregado presente nesses traços, ou seja, à baixa resistência mecânica dos agregados artificiais em comparação aos agregados naturais. A brita possui resistência bem superior aos demais agregados leves usados nos traços restantes e consequentemente maior é a resistência dos concretos com esse material. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento de resistência dos traços TB7.05 e TB5.05 em relação, foi a menor quantidade de EPS presente na mistura. A presença do EPS provoca diminuição

na resistência devido à fraca adesão entre o EPS e a pasta de cimento. Os traços TB7.05 e TB5.05 apresentaram resistências muito baixas aos 7 dias. Esse fato é devido a quantidade e qualidade dos materiais presentes nesses traços, pois o concreto acaba precisando de mais tempo para processar as reações de hidratação e endurecimento.

Em termos de resistência à compressão aos 7 e 28 dias para os traços sem brita (T07.01, T05.1, T03.1 e T01.1) não foram observadas diferenças significativas. Os resultados também podem ser explicados devido à baixa adesão dos agregados artificiais.

**Figura 4** – Resultados dos ensaios de resistência a compressão



Fonte: Autoria própria, 2017.

Na Figura 5 pode ser observada a superfície de fratura dos corpos de prova na qual se pode notar claramente a baixa aderência do EPS no concreto.

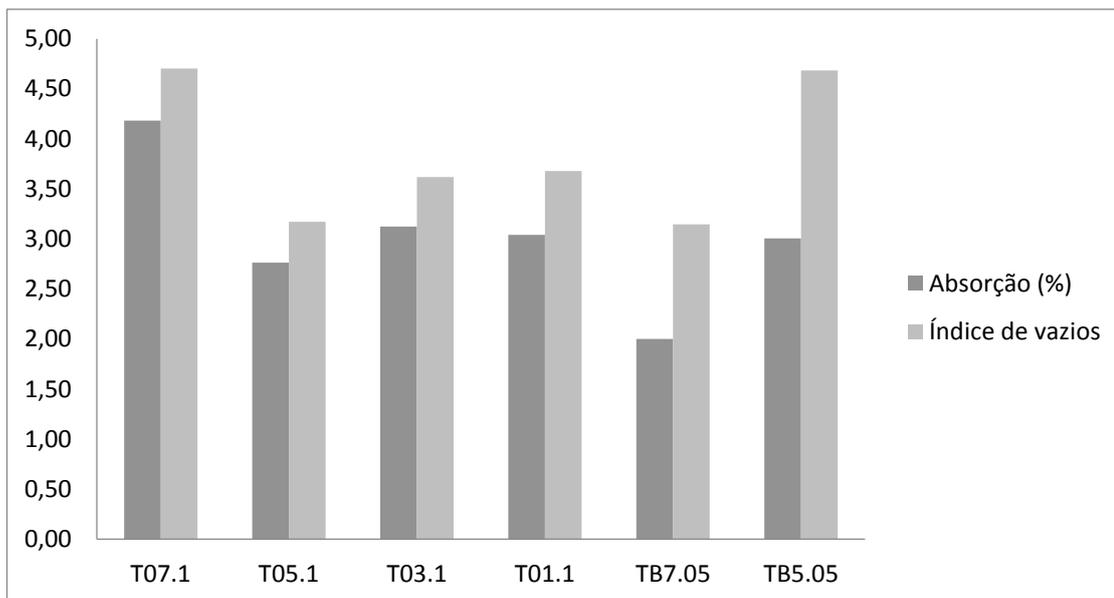
**Figura 5** – Detalhes do rompimento dos corpos de provas



**Fonte:** Autoria própria, 2017.

#### 4.3 ABSORÇÃO E ÍNDICE DE VAZIOS

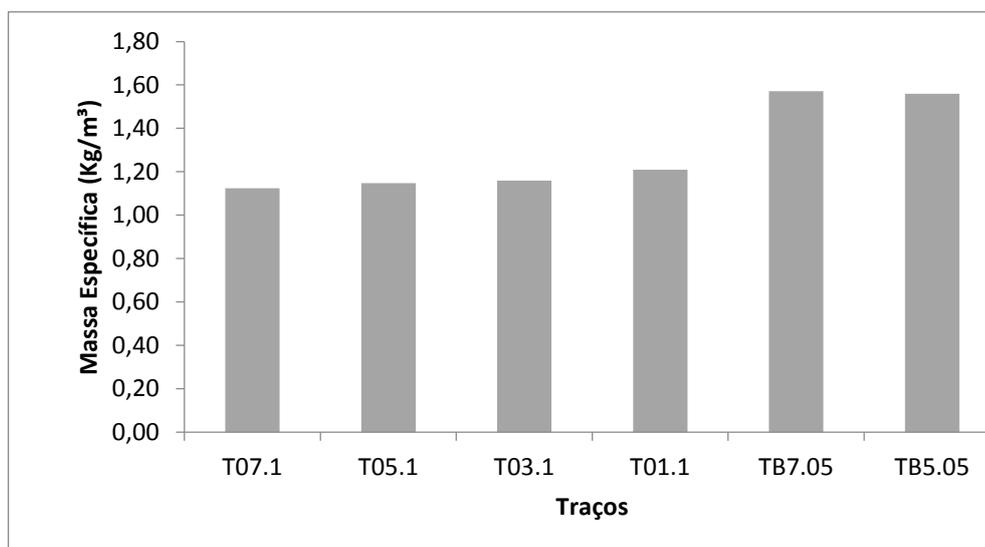
De acordo com gráfico da Figura 6, o traço TB7.05 apresentou melhores resultados de absorção e índice de vazios devido a sua composição. As demais composições que apresentaram elevado teor de EPS, mostraram valores de absorções e índices de vazios muito baixos para concreto leve. Esse resultado é justificável devido a grande quantidade de materiais que não absorvem água presentes nos concretos. Em termos gerais as absorções e os índices de vazios não apresentaram diferenças significativas.

**Figura 6 – Resultados de Absorção e índice de vazios**

Fonte: Autoria própria, 2017.

#### 4.4 MASSA ESPECÍFICA

No gráfico da Figura 7, os traços (TB7.05 e TB5.05) apresentaram massa específica superior aos demais. Isto ocorre devido sua composição conter teores maiores de agregados com densidade superior ao EPS e RBP. Os traços T07.1, T05.1, T03.1 e T01.1 não apresentaram diferenças significativas quanto a sua massa específica.

**Figura 7 – Resultados de massa específica.**

Fonte: Autoria própria, 2017.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados observados, pode se concluir que a adição RBP e EPS, em misturas de concretos, reduzem as consistências finais dos compósitos.

Os traços TB7.05 e TB5.05 apresentaram melhores resistência mecânica, índice de vazios e absorção, no entanto, apresentaram massa específica superior aos demais.

O uso da brita na formulação de concretos leves apresentou melhoras na resistência à compressão, devido à elevada resistência mecânica da brita.

A utilização de EPS é uma alternativa viável para quem deseja obter um concreto com baixa massa específica e resistência mecânica, comportando-se como um bom material de enchimento.

Os concretos podem apresentar uma alternativa viável para elementos isolantes. O uso desse tipo de concreto ainda contribui para a sustentabilidade, visto que consome resíduos que seriam descartados no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. R.M.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M.A.S.; BITENCOURT. Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo. In:\_\_\_\_\_. **Anais do ENTAC**. ENTAC, 2006.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE(ACI). **Guide for structural lightweight aggregate concrete**. ACI 213R-03, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11579 Cimento Portland. Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65: Cimento Portland. Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 11582: Cimento Portland. Determinação da expansibilidade Le Chatelier**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó. Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

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

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53: Agregado graúdo. Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 10 de Julho de 2018; aprovado em 11 de Outubro de 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739:** Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BOGAS, J. A.; Brito, J. de; Figueiredo, J.M. **Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete**, J. Clean. Prod., v. 89, p. 187–195, 2015.

GÜNEYISI, E.; M. Gesoglu and E. Booya. **Fresh properties of self-compacting cold bonded fly ash lightweight aggregate concrete with different mineral admixtures**, Mater. Struct., v. 45, n. 12, p. 1849–1859, 2012.

HER-YNG. Wang; B.-T. Chen; Y.-W. Wu. **A study of the fresh properties of controlled low-strength rubber lightweight aggregate concrete (CLSRLC)**. Constr. Build. Mater., v. 41, p. 526–531, 2013.

ISSA, Camille Assad. and George Salem. **Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design**, Constr. Build. Mater., v. 42, p. 48–52, 2013.

MARQUES, Adriano M., J. R. Correia; Brito, J. J. **Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled rubber aggregate**, Fire Saf. J., v. 58, p. 49–57, 2013.

MEHTA, Paulo J. ; Monteiro; P. K. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEWMAN, J. R. **Properties of structural lightweight aggregates concrete**. In structural lightweight aggregate concrete, J. L. Clar., 2005.

PELISSER Fernando; Luiz Renato Steiner; Adriano M. Bernardin. **Recycling of porcelain tile polishing residue in portland cement: hydration efficiency**, Env. Sci Technol, v. 46, no. 4, pp. 2368–2374, 2012.

PUPPALA Ananda J. ; Sireesh Saride; Richard Williammee. **Sustainable Reuse of Limestone Quarry Fines and RAP in Pavement Base/Subbase Layers**, J. Mater. Civ. Eng., v. 24, n. 4, p. 418–429, 2012.

RANJBAR, M. M. and S. Y. Mousavi. **Strength and durability assessment of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene**, Mater. Struct., v. 48, n. 4, p. 1001–1011, 2015.

SAMPAIO, Zodínio. **Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete**, IBRACON Struct. Mater. J., v. 7, 2014.

SHAFIGH, Payam et al. **Structural lightweight aggregate concrete using two types of waste from the palm oil industry as aggregate**. J. Clean. Prod., v. 80, p. 187–196, 2014.

SIDDIQUE, Rafat ; Naik, T.R. **Properties of concrete containing scrap-tire Rubber - An overview.** Waste Manag., 2004.

SILVA, Moacir Guilherme. **Avaliação da incorporação combinada dos resíduos de cascalho de perfuração de poço de petrolífero e de polimento do porcelanato em cerâmica vermelha,** Tese, 2012.

WANG. H. Yung, L. C. Yung, and Lee Hsien Hua. **A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete.** Constr. Build. Mater., v. 41, p. 665–672, 2013.