

Comparação entre o concreto leve com resíduo de borracha e o concreto com EPS

ABNER SANTOS BARONI SALES – DOUTORANDO

MURILO SANTOS PEIXOTO – DOUTORANDO

DEPARTAMENTO DE FÍSICA E QUÍMICA DA UNESP

LUIZ GUSTAVO PIMENTA DE PADUA – MESTRE

PHELIPPE MENDONÇA DE PAIVA – MESTRE

ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE IFGOIANO

RESUMO

A GRANDE REDE DE CONSUMO CAPITALISTA ACARRETA CONSIGO UMA SÉRIE DE IMPACTOS NEGATIVOS AO MEIO AMBIENTE, GERANDO UMA INFINIDADE DE RESÍDUOS PERIGOSOS QUE, QUANDO NÃO GERENCIADOS ADEQUADAMENTE, PROVOCAM IMPACTOS IRREVERSÍVEIS À QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE PÚBLICA. NESTE CONTEXTO, ESTIMA-SE QUE O DESCARTE DE PNEUS CHEGUE A CERCA DE 1,5 BILHÃO DE UNIDADES AO LONGO DO ANO, FAZENDO-SE NECESSÁRIA A BUSCA POR TECNOLOGIAS QUE INCORPOREM TAIS RESÍDUOS COMO MATÉRIA-PRIMA PARA AS TECNOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. ASSIM, ESTE ESTUDO BUSCOU AVALIAR AS PROPRIEDADES DO REAPROVEITAMENTO

DO RESÍDUO DA BORRACHA EM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO LEVE, COMPARANDO-O COM O EPS (POLIESTIRENO EXPANSÍVEL), UM AGREGADO LEVE JÁ CONSOLIDADO, BUSCANDO-SE: PROMOVER A SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO; AVALIANDO AS PROPRIEDADES FRESCAS, MECÂNICAS, MASSA ESPECÍFICA E MICROESTRUTURA. O CONCRETO LEVE DESENVOLVIDO APRESENTOU PROPRIEDADES MECÂNICAS COM VALORES SUPERIORES A 8 MPa NAS COMPOSIÇÕES DESENVOLVIDAS, EVIDENCIANDO A VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE CONCRETO LEVE, COM AGREGADO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU.

Palavras-chave: concreto leve, reaproveitamento, resíduo, borracha de pneu, sustentabilidade.

I. INTRODUÇÃO

A problemática do descarte inadequado de pneus apresenta uma série de impactos negativos ao meio ambiente. Comumente é verificado o manejo inadequado deste resíduo, como sua queima ou sua disposição final inadequada em lixões ou aterros sanitários. Tais medidas colocam em risco a saúde pública e a qualidade ambiental, desrespeitando a Lei Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

Estima-se que são descartados, no mundo, cerca de 1,5 bilhões de

pneus por ano. Por ser um material considerado de difícil absorção pelo ambiente, vários pesquisadores buscam alternativas para a reciclagem de forma a atenuar os impactos (KURZ *et al.*, 2018; MOHAJERANI *et al.*, 2020).

Uma vertente é o uso do resíduo de borracha (RB) como agregado leve para a produção de concreto, haja vista que o concreto é um dos materiais de construção que consome uma grande quantidade de recursos naturais; assim, o uso de partículas de borracha como agregado é uma abordagem que economizaria recursos naturais

e reduziria o impacto gerado ao ambiente (LI *et al.*, 2019).

O RB apresenta baixa densidade, obtendo potencial de uso para concreto leve. De acordo com a ACI 213 R (2003), o concreto leve possui uma massa específica entre 1.120 kg/m³ a 1.920 kg/m³; já o concreto convencional possui massa específica compreendida entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³ (NBR 8953/2015). Sendo assim, a aplicação do concreto leve reduz a carga em estruturas, uma vez que o peso próprio representa maior parte do carregamento (SAYADI *et al.*, 2016).





► **Figura 1**

Pérolas de poliestireno expandido (EPS)

Fonte: Própria (2021)

O poliestireno expandido (EPS) apresenta-se como um agregado leve já consolidado para a produção de concreto leve. Xie *et al.* (2019) verificaram que o EPS apresenta maiores vantagens se comparado aos outros agregados leves, devido à sua baixa densidade, baixa condutividade térmica e por ter propriedades hidrofóbicas.

Portanto, este estudo visa avaliar o emprego do resíduo de borracha de pneu de como constituinte de um concreto leve e sustentável, possibilitando a viabilidade construtiva deste



► **Figura 2**

Resíduo de borracha (RB)

Fonte: Própria (2021)

► **Tabela 1 – Ensaios de caracterização das matérias-primas do concreto leve mediante normas**

Materiais	Ensaios	Normas técnicas
Cimento	Massa específica	NBR 16605/2017
Agregados graúdos	Massa específica	NBR-NM 52/2009
	Massa unitária e massa unitária compactada	NBR-NM 45/2006
Agregados miúdos	Massa específica e absorção	NBR-NM 53/2002
	Massa unitária	NBR-NM 45/2006
RB e EPS	Massa específica e absorção	ACI-211.2/2004 (Apêndice A)
	Massa unitária	NBR-NM 45/2006

Fontes: ABNT (2002), ACI (2004), ABNT (2006), ABNT (2009), ABNT (2013), ABNT (2018)

tando a viabilidade construtiva deste comparando-o com o concreto leve de EPS através do estudo das propriedades mecânicas de ambos.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, utilizou-se os seguintes materiais:

- Cimento CPV-ARI da marca CAUÊTM;
- RB coletado na empresa Recapagem Carajás;
- EPS coletado na empresa ISOCENTRO;
- Areia;
- Brita;
- Aditivo superplastificante Tec-Flow 50N da GCPATM.

As Figuras 1 e 2 representam respectivamente EPS e RB.

Para a caracterização dos materiais, seguiu-se as especificações das normas técnicas mediante ensaios (Tabela 1).

As composições foram definidas pelo método da norma ACI 211.2-98 (2004). Este trabalho adotou o método

de massa que é o recomendado para concretos com agregados miúdos com massa específica normal e agregado leve graúdo.

As composições produzidas para o estudo constituíram-se em 3 tipos diferentes (Tabela 2), sendo uma composição referencial (CR) e o restante compostos por concreto leve. Tendo uma composição com resíduo de borracha (CRB), e uma composição com EPS (CEPS).

A partir das composições desenvolvidas, realizou-se as caracterizações do concreto baseando-se nas normas técnicas da ABNT (Tabela 3) e de normas estrangeiras. As avaliações foram realizadas em

► **Tabela 2 – Material utilizado em cada composição**

Composição de concreto	Tipo de concreto	Agregado graúdo
CR	Referência	Brita 9,5 mm
CRB	Leve	RB
CEPS	Leve	EPS

Fonte: Própria (2020)

► Tabela 3 – Ensaio de caracterização das propriedades do concreto mediante normas técnicas

Estágio do concreto	Ensaio	Normas técnicas
Concreto no estado fresco	Massa específica	NBR 9833/2008 ^b
	Trabalhabilidade	NBR 16889/2020 ^a
Concreto no estado endurecido	Moldagem dos corpos de prova	NBR 5738/2015 ^d
	Compressão axial	NBR 7215/2019 ^f
	Compressão diametral	NBR 7222/2011 ^e
	Módulo elástico	NBR 8522/2021 ^e

Fontes: ABNT(2020)^a, ABNT(2008)^b, ABNT(2011)^c, ABNT(2015)^d, ABNT(2021)^e, ABNT(2019)^f

diferentes estágios do concreto: estado fresco, endurecido e pela microestrutura do concreto.

Para a determinação de absorção de água e de índice de vazios seguiu a NBR 9778 (ABNT, 2005).

3. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS DO CONCRETO

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização das matérias-primas empregadas na produção dos concretos.

O EPS apresentou valores de massa específica de 0,56% da massa específica da brita, o justifica seu uso para alcançar a leveza do concreto, o mesmo valendo para o RB, que, apesar de ter uma massa

específica superior ao EPS, ainda é apenas 19% em relação à da brita.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As composições dos concretos

foram determinadas a partir da norma ACI 211.2-98 (2004) e estão presentes na Tabela 5.

4.1 Concreto no estado fresco

Os concretos no estado fresco apresentaram diferentes resultados para massa específica (ME) e abatimento do cone de tronco (ACT), conforme elucidada a Tabela 6.

Com a substituição da brita por agregados leves, foi possível reduzir significativamente a massa específica, o que se mostrou eficaz para conseguir o concreto leve. O CEPS obteve a maior redução da

► Tabela 4 – Caracterização das matérias-primas empregadas no estudo mediante normas técnicas

Estágio do concreto	Ensaio	Normas técnicas
Areia grossa	Massa específica ^e	2645,63 kg.m ⁻³ ^e
	Massa unitária	1491,47 kg.m ⁻³
	Massa unitária compactada ^d	1601,52 kg.m ⁻³
Brita 9,5 mm	Massa específica ^a	2888,08 kg.m ⁻³
	Absorção ^a	0,94%
	Massa unitária ^d	1525,05 kg.m ⁻³
Resíduos de borracha	Massa específica ^c	574,8 kg.m ⁻³
	Massa unitária ^d	419,47 kg.m ⁻³
EPS	Massa específica ^c	16,32 kg/m ³
	Massa unitária ^d	12,50 kg/m ³

Fontes: ABNT (2002)^a, ABNT (2003)^b, ACI (2004)^c, ABNT (2006)^d, ABNT (2009)^e, ABNT (2013)^f, ABNT (2018)^g

► Tabela 5 – Quantitativo dos materiais utilizados na composição dos concretos

Composição	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	RBP (kg/m ³)	EPS (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo
CR	557,1	360,04	1675	0	0	228,411	0%
CRB	557,1	360,04	0	333,5	0	228,411	0,3%
CEPS	557,1	360,04	0	0	7,25	228,411	0%

Fontes: Própria (2021)



► Tabela 6 – Resultados dos concretos no estado fresco

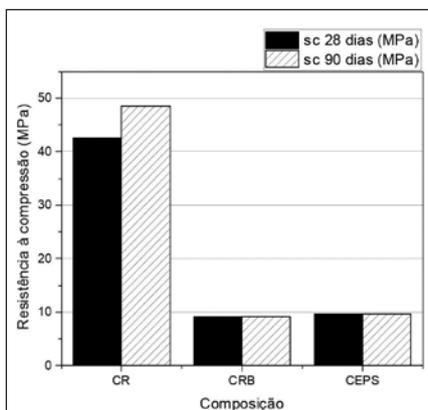
Composição	ME (kg.m ⁻³)	ACT (cm)
CR	2395	5,5
CRB	1502	7
CEPS	1215	6,5

Fonte: Própria (2021)

sua massa específica. No entanto, o uso de borracha conseguiu uma redução superior a 800 kg.m⁻³.

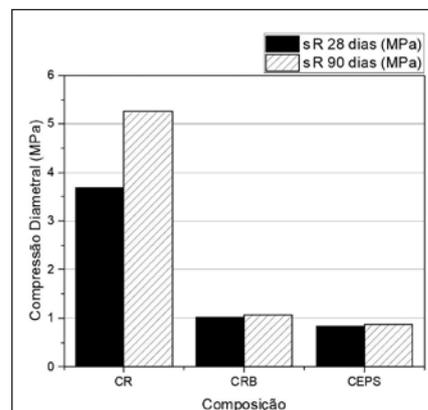
Schackow *et al.* (2014) estudaram concreto leve com EPS, encontrando valores entre 1250 kg/m³ e 1070 kg/m³, o que demonstra valores próximos ao CEPS estudado na pesquisa. Apesar do CRB ter ficado com valores maiores do que o EPS de Schackow *et al.* (2014), isso se dá principalmente pelo resíduo de borracha ter maior densidade, mas mesmo assim, os valores ficaram próximos aos da literatura.

No caso da trabalhabilidade, a composição com CRB apresentou uma menor trabalhabilidade, sendo necessário adicionar superplastificante para se chegar a uma consistência ideal. Assim sendo, a composição de CRB, sem o superplastificante, apresentou segregação



► Figura 3 Resistência mecânica à compressão axial nas idades de 28 e 90 dias

Fonte: Própria (2021)



► Figura 4 Resistência mecânica à tração por compressão diametral nas idades de 28 e 90 dias

Fonte: Própria (2021)

e não se uniu de forma coesa com a pasta. Porém, com a adição do superplastificante, foi possível obter uma massa coesa e bem distribuída e sem qualquer sinal de segregação.

4.2. Concreto no estado endurecido

No estado endurecido, os resultados foram separados em propriedades mecânicas, absorção e índices de vazios. Os resultados das propriedades mecânicas, sendo resistência à compressão axial (σ_c), tração por compressão diametral (σ_R) e módulo de elasticidade (E_{ci}), foram analisadas

com 28 e 90 dias de cura submersa em água e seguem na Tabela 7. Os resultados de absorção e índice de vazios seguem na Tabela 7.

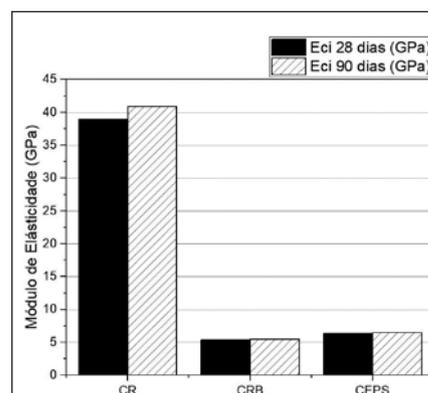
As Figuras 3, 4 e 5 apresentam as propriedades mecânicas em compressão axial, compressão diametral e módulo elástico, respectivamente.

Na resistência à compressão das composições de concreto leve, o

► Tabela 7 – Resultados das propriedades mecânicas em 28 e 90 dias

Composição	σ_c 28 dias (MPa)	σ_c 90 dias (MPa)	σ_R 28 dias (MPa)	σ_R 90 dias (MPa)	E_{ci} 28 dias (GPa)	E_{ci} 90 dias (GPa)
CR	42,6	48,52	3,68	5,25	38,91	40,93
CRB	9,08	9,19	1,01	1,07	5,37	5,50
CEPS	9,59	9,70	0,84	0,87	6,32	6,46

Fonte: Própria (2021)



► Figura 5 Módulo de elasticidade nas idades de 28 e 90 dias

Fonte: Própria (2021)

► Tabela 8 – Resultados dos concretos a 28 dias

Composição	Absorção (%)	Índices de vazios (%)
CR	3,72	8,86
CRBO	9,5	12,24
CEPS	7,03	6,91

Fonte: Própria (2021)

CEPS apresentou o maior valor, chegando a 9,70 MPa aos 90 dias de cura, enquanto o CRB chegou ao valor de 9,19 MPa aos 90 dias de cura, obtendo valor próximo ao CEPS, mostrando a vantagem do uso de borracha.

Schackow e *et al.* (2014) em seu estudo o concreto leve, usando apenas 65% de EPS, obteve resistência de 7,74 MPa, enquanto o valor de todos as composições foram maiores.

Na tração por compressão diametral, a composição de concreto leve que teve o maior valor foi o CRB, chegando a 1,07 MPa de média, enquanto a composição com EPS apresentou o menor valor, chegando a 0,87 MPa de média, mostrando que o resíduo

de borracha em comparação ao EPS apresenta melhores resultados na tração por compressão diametral.

O CEPS foi a composição de concreto leve com o maior módulo de elasticidade, com valor de 6,46 GP. Já, o CRB obteve 5,50 GPa. Conclui-se, então, que o resíduo de borracha torna o concreto mais tenaz, corroborando com o estudo de Bekhiti, Ghrieb e Zaitri (2021).

Os resultados da resistência mecânica mostraram que com agregado leve substituindo a brita obtém-se redução significativa, contudo ainda assim as resistências são significativas para aplicações em casos como concreto de regularização, bloco de concreto e entre outros. Em especial, pelo EPS já ser um agregado consolidado no mercado do concreto leve, o uso do resíduo de borracha ter obtido resultados próximos e até levemente superior em algumas das propriedades mecânicas mostra o RB como agregado leve promissor. Uma vez que o CRB obteve resistências superiores a 8 MPa na resistência à compressão axial e 1 MPa na tração por compressão diametral, traz a possibilidade de sua aplicação para regularização, segundo a norma NBR 13281 (ABNT, 2005).

No concreto endurecido, foi ainda realizado o estudo de absorção e índices de vazios. Os ensaios foram realizados com 28 dias de cura. Os resultados obtidos dos ensaios se encontram na Tabela 8.

A absorção e índices de vazios mostraram um leve aumento com o resíduo de borracha, em comparação EPS, uma vez que o EPS é hidrofóbico e, por si só, diminui significativamente a absorção – o fator de apresentar maior índices de vazios e maior absorção corrobora com o fato de o CRB apresentar menor resistência à compressão.

4.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Neste item, foi verificada a ligação dos agregados leves com a pasta de cimento Portland.

A Figura 6 apresenta o MEV do CEPS.

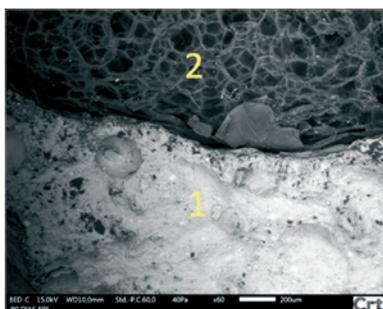
Na Figura 6, identifica-se uma união de certa forma fraca, o que pode ser explicado pela natureza hidrofóbica do EPS.

A Figura 7 apresenta o MEV do CRB.

Na Figura 7, foi possível identificar que o resíduo de borracha apresentou uma boa união com a pasta cimentícia, mostrando uma melhor aderência a matriz do que o EPS.

5. CONCLUSÕES

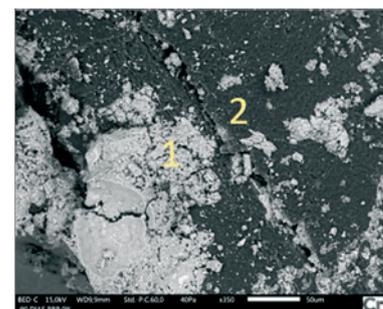
São descartados mais de 1 bilhão de pneus por ano e seu descarte causa muitos problemas sociais e ambientais, o que mostra a necessidade de fazer um reaproveitamento desses resíduos (RB). O estudo de usar esse resíduo na substituição do agregado graúdo em sua totalidade mostrou-se



► Figura 6

MEV da composição CEPS (região 1 sendo a pasta cimentícia e a região 2 sendo o EPS)

Fonte: Própria (2021)



► Figura 7

MEV da composição CRB (região 1 sendo a pasta cimentícia e a região 2 sendo o RB)

Fonte: Própria (2021)

muito eficaz em obter concreto leve. Com o uso do RB foi possível alcançar uma redução da massa específica em mais de 800 kg/m³, chegando a valores relativamente próximos ao de EPS.

O RB mostrou uma certa deficiência quanto à trabalhabilidade e à segregação da pasta do concreto, corrigidas com uso de superplastificante. Ainda, o RB apresentou redução na proprie-

dade mecânica comparado ao concreto convencional, mas, em relação ao concreto leve com pérola de EPS, obteve resultados próximos e, em algumas análises, até superiores. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete, ACI 211.2-98, 2004.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
- [3] BEKHITI, Melik; GHRIEB, Abderrahmane; ZAITRI, Rebih. Effects of tyre rubber fibre and glass fibre on physical and mechanical properties of compressed earth block (C.E.B) based on local materials. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, [S.L.], p. 1-12, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2021.01.003>.
- [4] KURZ, Mônica Navarini et al. A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas. Matéria (Rio de Janeiro), [s.l.], v. 23, n. 3, p.1-20, 18 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO).
- [5] MOHAJERANI, Abbas et al. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: a review. Resources, Conservation and Recycling, [s.l.], v. 155, p. 104679-104696, abr. 2020. Elsevier BV.
- [6] SAYADI, A.A.; TAPIA, J.V.; NEITZERT, T.R.; CLIFTON, G.C. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. Revista Elsevier Construction and Building Materials. Vol. 112, pág. 716-724. Amsterdam, PaísesBaixos, 2016.
- [7] SCHACKOW, Adilson; EFFTING, Carmeane; FOLGUERAS, Marilena V.; GÜTHS, Saulo; MENDES, Gabriela A. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. Construction and Building Materials, [S.L.], v. 57, p. 190-197, abr. 2014.
- [8] XIE, Yue et al. Preparation and properties of ultra-lightweight EPS concrete based on pre-saturated bentonite. Construction and Building Materials, [s.l.], v. 195, p.505-514, jan. 2019. z

Prática Recomendada IBRACON/ABECE

Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a *Prática Recomendada* é um trabalho pioneiro no Brasil, que traz as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

Baseada no *fib Mode Code 2010*, a *Prática Recomendada* estabelece os requisitos mínimos de desempenho mecânico do CRF para substituição parcial ou total das armaduras convencionais nos elementos estruturais e indica os ensaios para a avaliação do comportamento mecânico do CRF.

Aquisição

www.ibracon.org.br
(loja virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 39

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Patrocínio



Pode confiar